31761 07479070 0

Michaelis, Georg
Die wasserbewegung an der oberfläche des Indischen Ozeans im januar und juli

GC
283
M5

VERÖFFENTLICHUNGEN DES
INSTITUTS FÜR MEERESKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT BERLIN
HERAUSGEGEBEN VOM DIREKTOR ALFRED MERZ
NEUE FOLGE
A. Geographisch-naturwissenschaftliche Reihe. Heft 8

Februar 1923

DIE WASSERBEWEGUNG AN DER OBERFLÄCHE DES INDISCHEN OZEANS IM JANUAR UND JULI

VON

GEORG MICHAELIS

Mit 2 Abb. im Text u. 4 Karten

E. S. MITTLER & SOHN, BERLIN SW68, KOCHSTRASSE 68—71

VERÖFFENTLICHUNGEN DES
INSTITUTS FÜR MEERESKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT BERLIN
HERAUSGEGEBEN VOM DIREKTOR ALFRED MERZ
NEUE FOLGE
A. Geographisch-naturwissenschaftliche Reihe. Heft 8

Februar 1923

DIE WASSERBEWEGUNG AN DER OBERFLÄCHE DES INDISCHEN OZEANS IM JANUAR UND JULI

VON

GEORG MICHAELIS

566820
24.7.53

Mit 2 Abb. im Text u. 4 Karten

E. S. MITTLER & SOHN, BERLIN SW, KOCHSTRASSE 68—71

GC
283
M5

Alle Rechte aus dem Gesetze vom 19. Juni 1901
sowie das Übersetzungsrecht sind vorbehalten.

I. Das Material und seine Verarbeitung.

1. Quellennachweis.

Das wichtigste Quellenmaterial über die Wasserbewegung an der Oberfläche des Indischen Ozeans ist in dem vom Kgl. Niederländischen Meteorologischen Institut herausgegebenen Tabellen- und Kartenwerk: „Oceanographische en Meteorologische Waarnemingen in den Indischen Oceaan" (1908) enthalten. Daneben liegt die umfangreiche deutsche Bearbeitung der Strömungen des Indischen Ozeans vor in dem von der Deutschen Seewarte herausgegebenen „Atlas der Meeresströmungen in dem Indischen Ozean" (1913). Neben diesen beiden großen Werken sind eine Reihe älterer und neuerer Veröffentlichungen für das ganze Gebiet des Ozeans vorhanden, die für unsere Zwecke erheblich weniger Bedeutung haben, da sie entweder überholt sind oder das Material nicht genügend scharf erfassen lassen*).

Wichtige textliche Angaben enthalten das englische „Indian Sea Directory" (1882a) und das deutsche „Segelhandbuch für den Indischen Ozean" (1892). Gute Einzelangaben finden sich in den „Annalen der Hydrographie" (1873), besonders von den deutschen Kriegsschiffen beigebracht, sowie in den sonstigen periodischen Veröffentlichungen der Seeämter der einzelnen Nationen. Auch die von der Seewarte veröffentlichten Auszüge aus den Journalen deutscher Schiffe enthalten brauchbare Angaben (1905a). Stromangaben aus Gebieten, die von der praktischen Schiffahrt wenig oder gar nicht befahren werden, finden sich in den Veröffentlichungen wissenschaftlicher Forschungsreisen, namentlich in den Berichten der Wilkes- (1845), Challenger- (1884), Gazelle- (1889), Valdivia- (1902), Gauss- (1902a) und Planet-Expedition (1909).

Für einzelne Gebiete des Ozeans und für die Nebenmeere ist, abgesehen von den Segelhandbüchern, mancherlei Material von recht verschiedenem Werte vorhanden.

Die große Arbeit van der Stoks: „Wind and Weather, Currents, Tides and Tidal Streams in the East Indian Archipelago" (1897) behandelt das Malaiische Mittelmeer. Dort sind für 41 verschiedene Gebiete die mittlere Stromrichtung nebst Beobachtungsanzahl, Stromgeschwindigkeit für das Etmal, Beständigkeit in Prozenten und Stromstillen angegeben, und zwar wegen Mangel an Beobachtungsmaterial nur getrennt nach den beiden Halbjahren April—September und Oktober—März.

Für das Rote Meer liegt ein englisches Kartenwerk vor (1895). Zugrunde gelegt sind den 12 Monatskarten dieses Werkes Stromversetzungen, die seit 1869 auf der allgemeinen Dampferroute von englischen Schiffen beobachtet sind. Im Roten Meer hat außerdem die österreichische Pola-Expedition (1901) in den Winterhalbjahren 1895/96 und 1897/98 eingehende physikalische Untersuchungen angestellt und auf Grund der Temperatur- und Salzgehaltsverhältnisse schöne Strömungskarten entworfen. Über die meteorologischen Verhältnisse gibt die Arbeit von Krugler Aufschluß (1912).

Für den Persischen Golf sind die Unterlagen einer Arbeit Schotts (1918) entnommen, die sich auf die Beobachtungen deutscher Schiffe stützt.

Zwei ältere Veröffentlichungen des „Meteorological Departement" der Indischen Regierung konnten für den Golf von Bengalen und die Arabische

*) Vgl. Schriftennachweis 1882, 1891, 1896, 1905, 1906, 1907, 1908 a u. b, 1910.

See benutzt werden (1886, 1888). Es sind dies der erste und der dritte Teil einer Serie von vier Kartenwerken, welche die physikalischen Verhältnisse dieser Meeresteile behandeln. Die Strömungskarten des ersten und dritten Teiles enthalten einzelne Versetzungen. Leider ist dort Strom von weniger als 15 Sm als kein Strom angegeben, so daß ein etwas rohes Bild vorliegt, zumal die Stromstärken höchstens auf 10 Sm genau abgelesen werden konnten. Man gewinnt den Eindruck, daß überhaupt nur besonders starke Versetzungen eingetragen sind.

Für die Ostasiatischen Gewässer wurde dort, wo die Stromrosen des deutschen Atlas nicht ausreichten, eine ältere Arbeit Schotts zur Ergänzung herangezogen (1890).

Dazu treten für alle Nebenmeere noch Segelhandbücher und Reisebeschreibungen, doch müssen ihre Angaben vorsichtig gebraucht werden. Sie vermitteln häufig eine subjektiv generalisierte Auffassung des Strombildes, die nicht immer mit den tatsächlichen Verhältnissen in Einklang zu bringen ist. Bedeutend höher sind natürlich alle textlichen Veröffentlichungen wissenschaftlicher Expeditionen einzuschätzen.

Für die Arbeit wurde alles erreichbare gedruckt vorliegende Material benutzt, dagegen wurde handschriftliches Material nicht mit herangezogen.

2. Arbeitsmethode.

Es wurden, da die Bearbeitung von 12 Monatskarten über die Kräfte eines Einzelnen gegangen wäre, nur zwei Stromkarten entworfen, und zwar eine für den typischen Sommermonat und eine für den typischen Wintermonat, um wenigstens den großen Gegensatz der winterlichen und sommerlichen Stromverhältnisse im Nordindischen Ozean klar zur Darstellung zu bringen. Die Auswahl der Monate wurde auf Grund des holländischen Kartenwerkes (1908) getroffen, indem geprüft wurde, wann der Südwestmonsun und wann der Nordostmonsun im Strombild am deutlichsten in Erscheinung tritt. So wurden Januar und Juli als die beiden typischen Repräsentanten ermittelt. Die Abgrenzung dieser Karten wurde so gewählt, daß der gesamte Indische Ozean mit seinen Nebenmeeren zur Darstellung kam. So reicht das Kartenbild im Süden bis zur antarktischen Landgrenze, während im Norden noch Rotes und Persisches Meer einbezogen sind. Im Westen wird noch der Übergang von der indischen zur atlantischen Wasserbewegung und im Osten das Malaiische Mittelmeer und das Südchinesische Meer mit dargestellt. Es wurde mithin der Versuch gewagt, auch die hohen, bisher noch nie bearbeiteten Südbreiten in die Stromdarstellung mit einzubeziehen.

Als Projektion kam nur eine winkeltreue in Betracht, damit die Stromrichtung möglichst bequem abgelesen werden kann. Da auf die Merkatorprojektion prinzipiell verzichtet wurde wegen der großen Flächenverzerrungen in den hohen Südbreiten, so wurde eine winkeltreue Azimutalprojektion gewählt, die sogenannte stereographische Projektion, bei der sich Meridiane und Breitenkreise als Kreise projizieren mit Ausnahme des Meridians und Parallels durch den Berührungspunkt. Diese Projektion weist innerhalb des Darstellungsgebietes nur geringe Flächenverzerrungen auf. Der Hauptpunkt der Arbeitskarten, die im Maßstab 1 : 10 Mill. entworfen wurden, wurde in 20° S und 90° O gelegt. Sämtliche Werte der Projektion sind trigonometrisch berechnet. Die technische Genauigkeit der Zeichnung beträgt 3 Bogenminuten in Länge und Breite.

In diese Arbeitskarten wurde das vorhandene Material über Strombeobachtungen eingetragen. Als Hauptgrundlage dienten die in den

Tabellenbänden des holländischen Kartenwerks (1908) gemachten Angaben über Stromrichtung, Stromgeschwindigkeit, Beständigkeit des Stromes und Zahl der Beobachtungen. Es wurden also in die einzelnen Eingradfelder mittlere Stromrichtung, Stärke und Beständigkeit des Stromes und Beobachtungszahl — letztere nur, wenn geringer als 5 — unter Benutzung der von den Holländern angewandten Bezeichnungsweise, also mit Hilfe verschieden aussehender Pfeile, eingetragen. Trotzdem für den Januar 22 066 und für den Juli 16 954 Beobachtungen vorlagen, fehlten sie dennoch für weite Meeresgebiete ganz oder waren doch so spärlich, daß sie für eine Erkenntnis der Wasserbewegung nicht ausreichten, ganz abgesehen davon, daß der Rahmen unserer Arbeitskarten weiter gezogen ist als der des holländischen Kartenwerkes, das bloß das Gebiet von 20° N—50° S und von 10°—140° O umfaßt. Es wurde deshalb auch der deutsche Stromatlas (1913) zur Hilfe herangezogen, der im Norden bis an die Küsten und im Osten bis 150° O reicht, so daß in ihm die Ostasiatischen Gewässer mit dargestellt sind. Der Umstand, daß dem deutschen Werk Tabellen fehlen, welche die Bearbeitung unabhängig von der im Atlas gewählten Darstellungsweise machen würden, ferner der Umstand, daß als Darstellungseinheit Fünfgradfelder gewählt sind, läßt es allerdings als eine nicht gleich ergiebige Grundlage für die Arbeit erscheinen, wie das holländische Werk. Dazu kommt noch, daß das holländische Werk die Stromstärken anders als das deutsche abstuft, und letzteres Strom von weniger als 6 Sm als Stromstille rechnet. Es gab keine Möglichkeit, diese Verschiedenheiten zu beseitigen, und so mußten die Stromrosen unverändert, nur in entsprechender Vergrößerung, in die Arbeitskarten eingetragen werden. Und zwar ist das auch da geschehen, wo das holländische Material an sich ausreichte*). Die weißen Flächen im offenen Ozean und in den Nebenmeeren konnten damit aber noch nicht zum Verschwinden gebracht werden. Es handelt sich da, soweit der offene Ozean in Frage kommt, um Gebiete, denen die praktische Schiffahrt fernbleibt — die Stillengebiete und die hohen Südbreiten —, während in den Nebenmeeren die holländische und deutsche Schiffahrt teils nicht genügend vertreten ist, teils ihr Beobachtungsmaterial an anderer Stelle oder überhaupt noch nicht zur Veröffentlichung gebracht hat. Für die Nebenmeere boten bei Mangel genügender Strombeobachtungen die Verteilung der Oberflächentemperatur, des Salzgehaltes, des spezifischen Gewichts des Meerwassers und schließlich Windkarten Handhaben, um Aufschluß über Stromvorgänge zu erhalten.

Für das Rote Meer wurden die in den Meteorological Charts (1895) kartographisch gegebenen Einzelversetzungen, wenn mehrere in dasselbe Eingradfeld fielen, mit Hilfe der Koppelrechnung analog der Rechenweise für das Hauptquellenmaterial aufgerechnet. Die so gewonnenen Daten wurden dann in der üblichen Weise in die Arbeitskarten eingetragen. Für den Winter konnten ferner die physikalischen Beobachtungen der Pola-Expedition herangezogen werden (1901). Das Strombild des Persischen Golfes beruht auf den von Schott veröffentlichten Angaben (1918).

Für die Arabische See und den Golf von Bengalen konnten die vom Indischen Meteorologischen Amt (1886, 1888) gesammelten Beobachtungen trotz ihrer rohen Abstufung mit gutem Erfolg zugrunde gelegt werden, nachdem sie durch Koppelrechnung nach Eingradfeldern aufgerechnet waren.

Für das Malaiische Mittelmeer wurden die Stromdaten aus van der Stoks Werk (1897) für das betreffende Halbjahr eingetragen. Mithin ent-

*) Vgl. die Ausschnitte aus den Arbeitskarten und die Erklärung der Darstellungssymbole auf S. 8 u. 10.

spricht die Darstellung für dieses Gebiet nicht dem Juli und Januar, sondern den Jahreszeitenmitteln. Da aber die beiden gegensätzlichen Jahreszeiten sowieso einander gegenübergestellt sind, so dürfte die Abweichung von den tatsächlichen Verhältnissen im Juli bzw. Januar nur eine verhältnismäßig geringe und kaum irgendwo eine prinzipielle sein.

Selbstverständlich wurden auch alle Angaben der übrigen oben genannten Quellen in die Karten eingetragen.

Da die Beobachtungen in den hohen Südbreiten sehr spärlich gestreut sind, mußten ohne Rücksicht auf die Jahreszeit alle zur Verfügung stehenden Stromversetzungen herangezogen werden.

Um bei dem Zusammentragen des verschiedenartigen Materials den Überblick über den Ursprung der erhaltenen Stromdaten zu wahren und um eine Kontrolle über die Richtigkeit der Eintragung zu haben, wurden neben den Karten noch Tabellen angelegt. In diese wurden, geordnet nach Eingradfeldern und Monaten, sämtliche vorhandenen Beobachtungen unter Bezeichnung ihrer Herkunft eingetragen.

Der größte Teil des gesamten benutzten Materials besteht aus Stromversetzungen. Die Frage ihrer Brauchbarkeit wird eingehender behandelt in der demnächst in diesen Veröffentlichungen erscheinenden Arbeit von H. Meyer über die Strömungen des Atlantischen Ozeans. Darum seien hier nur ganz kurz die wichtigsten Momente gewürdigt, die ein Urteil über ihren Wert gestatten.

Internationale gesetzliche Bestimmungen verpflichten bekanntlich die Schiffsführer, jeden Mittag die geographische Position ihrer Schiffe auf hoher See astronomisch zu bestimmen. Die laufend notierten Angaben über den gesteuerten Kurs und die Geschwindigkeit des Schiffes ermöglichen es, den seit dem letzten Mittag gesteuerten mittleren Kurs und die zurückgelegte Wegstrecke zu errechnen. Diese durch die Schiffs- oder Loggerechnung gefundene Position, das gegißte Besteck, wird in der Regel mit dem astronomischen Besteck nicht genau übereinstimmen. Indem man die Richtung und Entfernung, um die das astronomische Besteck vom gegißten Besteck abweicht, feststellt, erhält man die Versetzung des Schiffes durch den Strom nach Richtung und Stärke während des Etmals, also während der Zeit von einem bis zum folgenden Mittag. In dieser Versetzung sind allerdings alle Fehler enthalten, welche bei der Loggerechnung und Ortsbestimmung gemacht werden. Als Fehlerquellen treten auf: Fehler im gesteuerten Kurs, Irrtümer in der Feststellung der zurückgelegten Wegstrecke, Fehler bei der astronomischen Ortsbestimmung.

Weiterhin gibt die Einschätzung der durch Windeinfluß bedingten Abtrift auch zu Fehlern Anlaß, denn sie ist subjektiv. Dazu treten ungenaue Kenntnis der magnetischen Mißweisung und der Deviation der Kompasse. Von Einfluß auf den erhaltenen Wert ist schließlich noch die Schiffsgeschwindigkeit. Denn die Versetzung gilt für das ganze Etmal und wird immer, ob kurze oder lange Strecken zurückgelegt sind, der Mitte der Wegstrecke des Etmals zugerechnet. Es steigt daher mit der Schiffsgeschwindigkeit die Gefahr, daß Versetzungen auf ein Seegebiet (auf ein Gradfeld) bezogen werden, in das sie gar nicht gehören; zumal wenn Stromgrenzen in der Nähe liegen, dürfte dieser Fall häufiger eintreten.

Die Fülle der Fehlerquellen könnte beängstigend wirken, wenn nicht viele Fehler zufällige wären, die sich bei genügender Zahl von Beobachtungen schließlich ausgleichen müssen. Dies bestätigte das Studium der Arbeitskarten, aus denen sich die bekannten großen, auch aus den herrschenden

Winden und aus der Verteilung der Oberflächentemperaturen sowie aus Flaschenposten ableitbaren Strömungen auch ohne weitere Verarbeitung klar erkennen ließen. Auf Grund dieser Tatsachen glaubten wir die Versetzungsangaben dann, wenn sie in genügender Zahl vorlagen, als Unterlage für die Konstruktion der Karten verwenden zu dürfen. In der Nähe von Stromgrenzen können sich allerdings systematische Fehler einschleichen. Je geringer die Zahl der Versetzungen ist, um so unsicherer müssen natürlich die Ergebnisse werden. In solchen Fällen kann man aber immer noch dann auf Erfolg hoffen, wenn die Angaben in innerer Übereinstimmung stehen, d. h. wenn sie ein Strombild ergeben, das mit dem aus hydrodynamischen Gründen zu erwartenden übereinstimmt. Je spärlicher die Zahl der Versetzungen, um so eingehendere Überlegung muß bei ihrer Verwertung Platz greifen.

Die neueren amtlichen Stromatlanten der verschiedenen Seeämter begnügen sich damit, das von den Schiffen aufgesammelte Material in rein statistischer Aufbereitung wiederzugeben.

Das generalisierende Verfahren, das in den ersten Auflagen der von der Deutschen Seewarte herausgegebenen Atlanten der Ozeane (1882b/1902; 1891; 1896a) angewandt wird, tritt völlig in den Hintergrund, und auch das Verfahren, nach wohlüberlegtem Plane Einzelversetzungen so darzustellen, daß der allgemeine Verlauf der Meeresströmungen einigermaßen zu erkennen ist, bleibt im großen und ganzen auf die englischen Stromkarten beschränkt, ohne eine Vervollkommnung zu erfahren. Man muß demnach den Eindruck gewinnen, daß gerade in den Seeämtern, wo ein starkes Bestreben herrscht, auf diesem für die Schiffahrt wichtigen Gebiete vorwärts zu kommen, das ist die Deutsche Seewarte in Hamburg und das Meteorologische Institut in De Bilt in Holland, die Überzeugung feste Wurzel gefaßt habe, daß eine solche statistische Aufbereitung den Zwecken der praktischen Schiffahrt genüge, ja ihr am besten entspräche*).

Wir stehen hier auf einem prinzipiell verschiedenen Standpunkte. Wir können eine rein statistische Bearbeitung nur als den ersten Teil der zu lösenden Aufgabe ansehen, die mit allen Hilfsmitteln, welche unsere Kenntnis von der strömenden Bewegung des Wassers im allgemeinen und von der strömenden Bewegung des Meerwassers in den unregelmäßig gestalteten Becken der rotierenden Erde im besonderen bietet, versuchen muß, aus dem statistisch aufbereiteten Material so viel als möglich herauszuholen, um ein der Wirklichkeit möglichst angenähertes Bild von der tatsächlichen mittleren Wasserbewegung nach Richtung und Stärke zu geben und zugleich ein Urteil zu ermöglichen, mit welcher Zuverlässigkeit dieser mittlere Zustand dargestellt werden konnte, und mit welcher Wahrscheinlichkeit auf sein Vorhandensein gerechnet werden kann. In je vollendeterer Weise die für die statistische Aufbereitung gewählte Methode diesen zweiten wissenschaftlich wie praktisch gleich wichtigen Teil der Aufgabe verwirklichen läßt, desto mehr verdient sie den Vorzug vor anderen Methoden, die eine Weiterbearbeitung nicht in gleicher Weise ermöglichen.

Wir glauben die Richtigkeit dieser Anschauung am besten dartun zu können, wenn wir Kartenausschnitte miteinander vergleichen, in denen dasselbe Strömungssystem einmal nach rein statistischen Methoden, ein anderes Mal nach der von uns angegebenen Methode dargestellt ist. Wir wählen

*) Infolge der hohen Kosten für die Drucklegung dieser Arbeit konnte ein einleitender Abschnitt: „Die geschichtliche Entwicklung der Kartographie der Meeresströmungen“ nicht zum Abdruck gelangen.

Abb. 1. Eingradpfeile, Stromrosen und resultierende Richtungen im Süden Afrikas.

dafür erstens das Gebiet südlich Afrikas, wo Agulhasstrom und Westwindtrift zusammentreffen (vgl. Abb. 1).

Die kleinen schwarzen Eingradpfeile sind eingezeichnet nach den Tabellen des holländischen Stromwerkes über den Indischen Ozean. Sie geben neben der mittleren Stromrichtung die mittlere Geschwindigkeit durch die Zahl der Fiederstriche (ein schwacher Fiederstrich = 5 Sm, ein starker = 10 Sm im Etmal), die Beständigkeit der mittleren Stromrichtung durch die Länge der Pfeilschäfte, und zwar in Prozenten für die 4 Stufen 0—24,9 %, 25—49,9 %, 50—74,9 % und 75—100 %. An das Ende eines Pfeilschaftes ist ein Ring gesetzt, wenn der Pfeil aus weniger als 5 Beobachtungen gewonnen ist; ist dem Ring noch ein kleiner Strich hinzugefügt, so beruht der Pfeil auf nur einer Beobachtung.

Die Fünfgradfeld-Stromrosen geben die prozentuale Häufigkeit des Vorkommens von Strom in einer bestimmten Richtung und mittlere Stromstärken dieser Richtungen durch einen Stern, der die 16 Kompaßrichtungen enthält. Diese 16 Richtungen sind als Sektoren anzusehen, auf deren zugehörige Sektorflächen alle auftretenden Stromrichtungen entsprechend verteilt werden. Die verschiedene Form der Richtungspfeile der Rose bezeichnet, abgegrenzt nach 11 Stufen, die Stromstärke. Strom von weniger als 6 Sm ist als Stille gerechnet. Die wechselnde Länge dieser Pfeile drückt die Häufigkeit des Vorkommens von Strom in den einzelnen Richtungen aus; die Prozentzahl selbst wird mit Hilfe einer beigefügten Skala abgelesen. Gegeben ist ferner noch die Anzahl der der Konstruktion der Rose zugrunde liegenden Beobachtungen und die Prozentzahl der Stromstillen. Die letzteren beiden Werte sowie die Skala sind jedoch in den Kartenausschnitten nicht mitgegeben, um bei der starken Verkleinerung die Übersichtlichkeit des Bildes nicht zu gefährden. Diese Stromrosen sind dem deutschen Atlas entnommen.

Über die Bedeutung der wechselnden Form der großen umrandeten Pfeile vergleiche man die Erläuterungen zu den Kartenbeilagen.

Diese großen Pfeile zeigen das Strombild, das man bei der Bearbeitung nach der von uns angegebenen Methode erhält. Sie ergeben folgendes Bild. Südlich der afrikanischen Küste fließt der Agulhasstrom mit teilweise großer Geschwindigkeit und Beständigkeit westwärts, südlich von etwa 40° S fließt die Westwindtrift mit zwar geringerer Stärke, aber auch mit

großer Beständigkeit nach Osten. Diese beiden durch das weite Vorspringen Südafrikas hart aneinander gedrängten Strömungen treten in eine wohl verständliche Beziehung. Der Agulhasstrom gibt auf seinem Wege mit zunehmender Raumeinengung, also in der Osthälfte des Gebietes, Wasser an die Westwindtrift ab, während diese in gleicher Weise und aus gleichem Grunde in der Westhälfte des Gebietes Wasser an den in den Atlantischen Ozean übertretenden Rest des Agulhasstrom abtritt. So entsprechen den südwärts kurvenden Wasserfäden dort nordwärts kurvende hier. Es ist ohne weiteres klar, daß diesen verbindenden Stromfäden geringere Beständigkeit als den beiden primären Bewegungen zukommt.

Die kleinen Eingradfeld-Pfeile lassen die eben geschilderte Wasserbewegung deutlich erkennen. Aus diesem Material ist ja auch unter Berücksichtigung der oben angedeuteten Gesichtspunkte das durch die großen Pfeile bezeichnete Strombild in der Hauptsache gewonnen. Das bedeutet, daß die von den Holländern gewählte statistische Aufbereitung eine geeignete Grundlage bietet, um darauf die weitere wissenschaftliche Bearbeitung aufzubauen. Diese selbst ist aber nicht zu entbehren, wie wieder aus derselben Abbildung leicht erkannt werden kann. Denn im einzelnen zeigt die holländische Darstellung wiederholt, sogar innerhalb desselben Stromfadens von Pfeil zu Pfeil einen Wechsel von Richtung, Stärke und Beständigkeit, der nicht den tatsächlichen mittleren Verhältnissen entsprechen kann, sondern unzweifelhaft darauf beruht, daß die Zahl und Zuverlässigkeit der Beobachtungen nicht genügt, um die wirklichen mittleren Verhältnisse auf rein statistischem Wege einwandfrei zur Darstellung zu bringen. Erst die Verarbeitung nach physikalischen Gesichtspunkten kann diese Unstimmigkeiten genügend beseitigen. Geschieht dies nicht, so muß der Seemann selbst wohl oder übel diese Arbeit leisten, zu der er aber in der Regel nicht das genügende wissenschaftliche Rüstzeug, vor allem aber auch nicht die nötige Zeit besitzen dürfte.

Die Fünfgradfeld-Stromrosen lassen kaum die Hauptzüge des Strombildes klar erkennen. So kommt nicht einmal der besonders starke und beständige Agulhasstrom vor der Südküste Afrikas klar zum Ausdruck. Die Hauptursache der Nachteile dieser Methode liegt in der Wahl des Fünfgradfeldes als Darstellungseinheit. Diese ist nicht nur für das eben behandelte Gebiet, sondern fast für den ganzen Ozean zu groß, weil in nur wenigen Fällen die Fläche eines ganzen Fünfgradfeldes von einem einheitlichen Stromgebiet eingenommen wird. Vielmehr reicht das Gebiet einer Stromrose in der Regel in verschiedene Stromgebiete hinein, so daß die Daten aus verschieden gerichteten, verschieden starken und verschieden beständigen Strömungen an einer Stelle vereinigt werden und dadurch den falschen Eindruck erwecken, als ob an der Stelle der betreffenden Stromrose tatsächlich alle diese Richtungen auch mit der von der Stromrose angegebenen Häufigkeit aufträten.

Durch diese Darstellung kann man verleitet werden, die Meeresströmungen für noch unstetiger zu halten, als sie es in Wirklichkeit sind. Eine Ausdeutung des Stromrosenbildes wird in vielen Fällen kaum dem Gelehrten, geschweige denn dem praktischen Seemanne möglich sein.

Das Grenzgebiet des Südäquatorialstroms, des äquatorialen Gegenstroms und der Nordostmonsuntrift im Westen von Sumatra (Abb. 2) gibt ein weiteres Beispiel der Mängel, die sich bei einer Darstellung in Fünfgradfeld-Stromrosen ergeben.

Die großen Pfeile zeigen folgenden Stromverlauf. Südlich 10° S

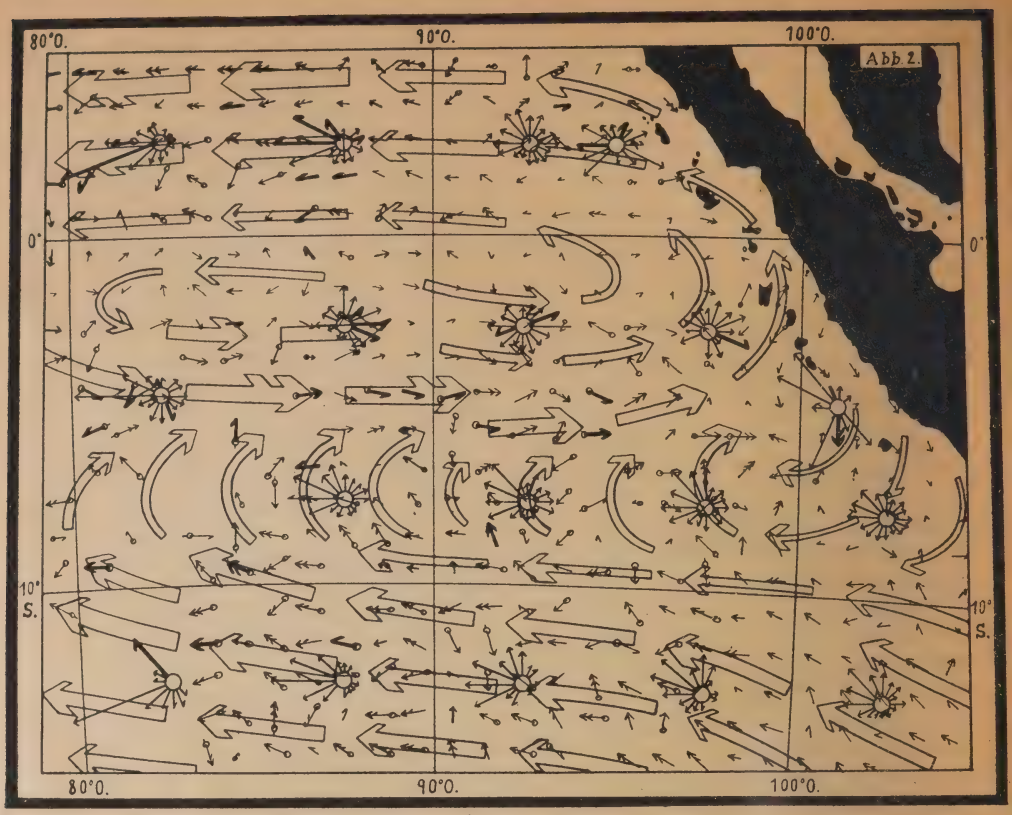


Abb. 2.
Eingradpfeile, Stromrosen und resultierende Richtungen im Westen Sumatras.

fließt der Südäquatorialstrom mit 50—75 % Beständigkeit und mit durchschnittlich 10—15 Sm Geschwindigkeit annähernd nach Westnordwesten. Nördlich des Äquators herrscht die rein westwärts gerichtete Trift des Nordostmonsuns. Sie besitzt im allgemeinen hohe, nur im Osten und am Südrande geringere Beständigkeit und gewinnt nach Westen bedeutend an Stärke. In 5° S verläuft die Achse des Äquatorialgegenstroms. Hohe Beständigkeit und große Stromstärke — bis zu 30 Sm — zeichnen das Zentrum dieser Strömung aus. Im Osten gabelt sie sich vor der Küste von Sumatra und gibt Wasser an die beiden vorher erwähnten Strömungen ab, die ihrerseits die Wassermassen von der Ostküste wegführen, während sie weiter westwärts selbst, namentlich vom Südäquatorialstrom, Zufluß erhält.

Wie im Süden Afrikas geben die Eingradfeld-Pfeile die Hauptströmungen deutlich wieder, dagegen sind die Stromverzweigungen besonders im Westen Sumatras erheblich schwerer zu erkennen. Es treten hier in den Übergangszonen zwischen den drei Stromgebieten sehr schwache und vor allem unbeständige Strömungen auf. Die Eingrad-Pfeile divergieren daher sehr stark, so daß eine Entwirrung der vielen verschiedenen Einzelrichtungen nur durch eine mühevolle Bearbeitung möglich ist, die der Seemann nicht leisten kann.

Noch unklarer ist aber das Bild, das die Fünfgradfeld-Stromrosen zeigen; in ihm fehlt sogar der starke, beständige Äquatorialgegenstrom, und die meisten Rosen zeigen Strom nach allen Richtungen.

Nun haben sich allerdings das Holländische Meteorologische Institut und die Deutsche Seewarte nicht einseitig auf die hier erörterten Darstellungsmethoden festgelegt. Die Holländer haben neben ihren Stromkarten mit Zweigradfeld-Darstellungseinheiten und Pfeilmethode, sowie den Eingradfeldtabellen, auch noch Fünfgradfeld-Stromrosen veröffentlicht, von denen natürlich dasselbe gilt wie von den deutschen. Anderseits hat die Deutsche Seewarte in ihrem Atlas neben den Stromrosen auch Karten der Einzelversetzungen für jeden Monat gegeben. Diese zeigen ein schwer zu übersehendes, geradezu verwirrendes Bild, und wir können nicht glauben, daß diese Darstellung für den Seemann von großem praktischen Wert oder wissenschaftlich besonders ergiebig ist. Unsere Darlegungen führen zu dem Schlusse, daß nicht nur im Interesse der Wissenschaft, sondern auch der Seeschiffahrt eine generalisierende Methode der Stromdarstellung nicht entbehrt werden kann, die das gesamte statistisch möglichst einheitlich aufbereitete Material heranzieht und es unter hinreichender Würdigung aller erzeugenden und modifizierenden Faktoren der Wasserbewegung kritisch weiter zu verarbeiten sucht. Nur auf solche Weise können die Stromvorgänge an der Oberfläche der Ozeane hinreichend genau erkannt und in geeigneter Weise dargestellt werden.

Als erzeugende Faktoren kommen bekanntlich Druckunterschiede und Winde, als modifizierende Faktoren Reibung, ablenkende Kraft der Erdrotation und natürliche Gestaltung der Meeresbecken in Betracht. Wenngleich nun bei der Konstruktion naturgemäß die Beobachtungstatsachen stets entscheidend waren, so wurden doch die eben erwähnten Faktoren immer im Auge behalten und für die Vervollständigung des aus Beobachtungen gewonnenen Strombildes in dem Maße stärker herangezogen, wie ungenügende Beobachtungszahl dazu drängte. Hatte z. B. in Gebieten mit reichem Beobachtungsmaterial die Konstruktion einwandfrei ergeben, daß in Übereinstimmung mit Ekmans Triftstromtheorie der Strom auf offener See rund 45° links vom Winde auf der südlichen und 45° rechts vom Winde auf der nördlichen Halbkugel läuft, und daß in engeren Gewässern dieser Ablenkungswinkel zwar ebenfalls vorhanden, aber wesentlich kleiner sei, so konnte diese Beziehung auch für andere Windgebiete verwertet werden, wo das hydrographische Beobachtungsmaterial allein für die Konstruktion nicht ausgereicht hätte. Besonders gut konnten auf diese Weise Lücken in den Stromangaben einheitlicher Windgebiete geschlossen und sichtlich unrichtige oder zufällige Einzelangaben eliminiert werden.

Von großer Bedeutung für die richtige Auffassung der Beobachtungen und des wahren Strombildes ist die gebührende Berücksichtigung der Küstengestaltung. Ablandige Triftströmungen erfordern Zuflußströme aus der Tiefe und von den Flanken her, auflandige Triftströmungen verlangen nicht nur absteigende Wasserbewegung, sondern auch seitliche Abflußströmungen aus den Flanken der Trift, wie ja Krümmel in seinen Stromexperimenten (1911 S. 472 folg.) so schön dargestellt hat. In allen Buchten, an denen der Hauptstrom vorbeifließt, kommt es zu Neerströmungen. Alle diese Kompensationsströmungen, die sich aus der Kontinuitätsbedingung ergeben, können oft aus den Beobachtungen nur bei sorgfältiger Bearbeitung herausgeholt werden; denn sie sind häufig so schmal, daß sie nicht einmal bei Zugrundelegung der Eingradfeldeinheit immer klar in Erscheinung treten, und sie sind häufig so schwach, daß sie bei geringerer Beobachtungszahl leicht durch Beobachtungsfehler überdeckt werden können.

Ferner treten unter Einwirkung von Reibung und Erdrotation regelmäßig im Grenzgebiet entgegengesetzt verlaufender Strömungen Wirbel-

bildungen auf, die auf der nördlichen Halbkugel im Sinne des Uhrzeigers, auf der südlichen Halbkugel in entgegengesetzter Richtung verlaufen. Sie waren vielfach mit großer Sicherheit aus den Beobachtungen zu erkennen und wurden in anderen Gebieten, wo die Beobachtungen spärlich waren, unter Verwertung dieser Einzelbeobachtungen und der Windverhältnisse herausgearbeitet.

Selbstverständlich wurde auch die Tatsache bei der Konstruktion verwertet, daß in Nebenmeeren und Meerbusen unter dem bekannten Einfluß der Dichte- und Luftdruckverteilung die Strömung auf der nördlichen Halbkugel nach links, auf der südlichen nach rechts herum läuft, wobei auch, soweit das Beobachtungsmaterial überhaupt reichte, der Einfluß einer komplizierten Küstengestaltung, welcher diese einfachen Schemata wesentlich modifiziert, nicht unberücksichtigt blieb.

Die Symbole unserer Karten sind so gewählt, daß der Benutzer sofort erkennen kann, in welchem Maße die Darstellung eines Gebietes auf Beobachtungen oder auf theoretischen Überlegungen beruht.

Als Darstellungssymbol wurde der Pfeil gewählt. Richtung der Pfeile, Anzahl der Fieder, Breite der Schäfte und Unterbrechungen in den Schäften geben Auskunft über die einzelnen Stromdaten. Da durch die Länge des Pfeiles nichts bezeichnet wird, wurde in dieser Beziehung Unabhängigkeit von der Darstellungsfläche als sehr wichtige Freiheit gewonnen. Um den Zusammenhang der Wasserbewegung klar darstellen zu können, wurde, wo notwendig, der gekrümmte Pfeil eingeführt.

Wie im einzelnen gearbeitet wurde, läßt sich an Hand der Kartenausschnitte ersehen. Zur Vermeidung von Mißverständnissen sei ausdrücklich festgestellt: Die dargestellte mittlere Stromrichtung ist — soweit das statistisch aufbereitete Material ausreicht — das graphische Mittel aus den durch Koppelrechnung gewonnenen mittleren Stromrichtungen der Eingradfeldpfeile. Die prozentuale Beständigkeit für unsere mittlere Richtung wurde einerseits gewonnen aus den Beständigkeitsangaben für die zugrunde liegenden Eingradfeld-Pfeile und anderseits durch kritische Beurteilung der Divergenz bzw. Konvergenz der Richtungen der betreffenden Eingradfeld-Pfeile, wobei auch der Charakter des Stromgebiets berücksichtigt wurde. Die mittlere Stromgeschwindigkeit ist das arithmetische Mittel der durch die Eingradfeldpfeile angezeigten Stromstärken. Die Bildung des Mittels auf graphischem Wege hat uns also ermöglicht, die einzelnen Stromdaten, die mittlere Richtung, die mittlere Geschwindigkeit, prozentuale Beständigkeit der mittleren Richtung und die Sicherheit der Darstellung*) aus dem Material zu gewinnen, und zwar unter Beachtung aller erzeugenden und modifizierenden Faktoren der Wasserbewegung. Wir erhalten auf diese Weise ein generalisiertes Strombild, das den mittleren Zustand der Wasserbewegung darstellt.

Bei der Bearbeitung der Stromkarten nach vorstehend entwickelter Methode folgte Verfasser einer Anregung von Prof. Merz. Für die tatkräftige Förderung der Arbeit sowie für die Bereitstellung der Hilfsmittel durch das Institut für Meereskunde ist der Verfasser seinem hochverehrten Lehrer zu besonderem Dank verpflichtet.

*) Da das den Karten zugrunde liegende Material nicht nur aus Stromversetzungen besteht, konnte auch keine ganz scharfe Abgrenzung für die einzelnen Stufen der Darstellungsicherheit angenommen werden. Im allgemeinen wurde das Material auf den Karten als „reich" bezeichnet, wenn etwa für 60 von 100 Eingradfeldern Stromangaben vorlagen, als „wenig", wenn nur für 20 bis 60 Felder Angaben vorlagen, als „sehr spärlich", wenn in einem Seegebiet nur hier und da eine Stromangabe sich findet.

II. Beschreibung und Erklärung der Wasserbewegung.

1. Allgemeine Züge.

Den nördlichen Indischen Ozean beherrschen die halbjährlich wechselnden Monsuntriften mit ihren Abfluß- und Zuflußströmen. Dichtewirkungen treten stark zurück. Den Südindischen Ozean kennzeichnen Südäquatorialstrom und Westwindtrift mit ihren sekundären Gliedern.

Von Norden nach Süden treten drei große Windtriften als Hauptglieder der Wasserbewegung in Erscheinung.

Die Trift des Nordostmonsuns im Winter, des Südwestmonsuns im Sommer, der Südäquatorialstrom als Trift des Südostpassates und die Westwindtrift; sie heben sich auf den Karten durch ihre Flächenausdehnung und Beständigkeit hervor. Zwischen ihnen treten auf offener See Wirbelgebiete mit schwachen, wenig beständigen Strömen auf, und in den Küstengebieten knüpfen sich an sie Abfluß- und Zuflußströme, die nur schmalen Raum einnehmen, aber zum Teil von großer Stärke sind.

Somalistrom, Moçambique-, Agulhas- und Westaustralstrom sind solche durch die Kontinuität bedingte Glieder der Wasserbewegung des Indischen Ozeans, zu denen als Kompensationsstrom der offenen See der äquatoriale Gegenstrom hinzutritt.

Der Arabische Meerbusen und der Golf von Bengalen, die Insel Madagaskar, die große Australbucht, der Malaiische Inselarchipel sind geographische Formen, die das Strombild wesentlich beeinflussen.

2. Einzeldarstellung.

a. Die Januarkarte.

Die durch den Südostpassat hervorgerufene Trift des Südäquatorialstroms ist deutlich erkennbar von 110° O bis hinüber nach Madagaskar. Die Nordgrenze verläuft zwischen 100° und 80° O scharf ausgeprägt in etwa 9° S. Von 80° O an verschiebt sich die Grenze allmählich nach Süden, bis vor Madagaskar die Gabelung und damit eine Abdrängung des einen Arms nach Norden stattfindet, der zwischen der Insel und der afrikanischen Küste in etwa 7° S seine nördlichste Lage erreicht. Die Südgrenze verläuft zwischen 100° und 80° O in etwa 22° S und dringt dann allmählich in höhere Breiten vor, bis sie südlich Madagaskar etwa 32° S erreicht. Im freien Ozean beträgt die mittlere Geschwindigkeit 10—15 Sm bei westlichen Richtungen und die Beständigkeit durchschnittlich 50—75 %. Die Trift liegt in der Hauptsache 40°—45° links vom Winde. Diese der Theorie entsprechende Ablenkung gegenüber dem Winde trifft nur für den offenen Ozean zu, zeigt sich dagegen nicht vor den Küsten Madagaskars und Afrikas, da hier die Küstenkonfiguration in Verbindung mit Forderungen der Kontinuität den Stromverlauf entscheidend beeinflußt.

Die Trift gabelt sich, wie schon erwähnt, vor der Insel Madagaskar, ein Arm fließt nördlich, ein anderer südlich der Insel vorbei auf das afrikanische Festland zu, wobei sich der Strom namentlich beim Umfließen des Nord- und Südendes der ihm langhin in den Weg tretenden Insel verstärkt. Die durch die Insel erzwungene Teilung beginnt allem Anschein nach schon im offenen Ozean in 73° O und 22° S. Doch ist das vorliegende Material in Richtung so wenig einheitlich, daß die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen ist, daß die Teilung erst wesentlich näher an der Küste beginnt. Der Nordzweig gabelt sich erneut bei Kap Delgado an der afrikanischen Festlandsküste. Die Hauptmasse des Wassers biegt nach Norden um in die flache Bucht von Sansibar, ein wesentlich schmalerer Arm schwenkt nach Süden um in den Kanal von Moçambique, an dessen Westküste die Wurzel des Moçambique-

stroms bildend, während aus der Osthälfte des Kanals durch den scharf um die Nordspitze Madagaskars fließenden Hauptstrom Wasser nach Norden aspiriert wird.

Im gesamten Gebiet nördlich des Äquators herrscht die Trift des Nordostmonsuns; auch die Ostasiatisch-Ostindischen Gewässer, der Golf von Bengalen und der Arabische Meerbusen liegen in ihrem Bereich.

Der hier in Betracht kommende Teil der Ostasiatischen Gewässer, die südliche Chinasee, empfängt aus dem Stillen Ozean durch die Formosastraße, den Baschi- und Balingtang-Kanal Wasser mit westlicher bis südwestlicher Bewegungsrichtung. Diese Wassermassen strömen mit dem durch den Monsun in Bewegung gebrachten Oberflächenwasser der Chinasee auf die Ostküste Hinterindiens zu und werden durch diese zum Ausweichen nach Süden gezwungen, wodurch unmittelbar an der Küste von Annam besonders starker Strom entsteht. Das hier auch durch die Wirkung der Erdrotation angestaute Wasser wird zum Teil um Kap Kambodga herum mit 20—30 Sm Geschwindigkeit in den Golf von Siam gedrängt, den es entgegen Schotts Darstellung (1917) links herum umkreist. Es ist allerdings nicht ausgeschlossen, daß hart unter Land örtlich begrenzte, entgegengesetzt gerichtete Neerströme vorkommen. Das deutsche wie das englische Segelhandbuch sagen nichts aus darüber und widersprechen auch nicht unserer Auffassung in bezug auf den linkskreisenden Strom (1908c; 1912a).

In dem sehr flachen, mit zahlreichen Riffen durchsetzten, für die Schiffahrt gefährlichen Gebiet der Chinasee zwichen Luzon und Palawan, von dem naturgemäß nur wenig Material vorliegt, herrschen schon wegen des Windschutzes durch die hohe Insel Luzon und der starken Bodenreibung sehr schwache und veränderliche Strömungen. Anzeichen eines so ausgedehnten Wirbels, wie ihn Schott auf seiner Karte (1917) verzeichnet, und wie ihn auch Krümmel annimmt (1911, S. 690), haben wir nicht gefunden. Die holländischen Eingradfeldpfeile sowohl wie die deutschen Stromrosen sprechen gegen diese Auffassung, ganz abgesehen davon, daß ein Grund für ein derartiges Verhalten der Wasserbewegung nicht vorhanden ist.

Die Strömungen des Malaiischen Archipels sind sehr verwickelter Natur. Wohl ist der Wind der entscheidende Faktor, der in der Sulu-, Celebes- und Molukkensee, sowie in der Mankassarstraße noch als Nordost- bis Nordmonsun weht, während in Sunda-, Flores- und Bandasee bis nach Australien hin bereits der Nordwest- bis Westmonsun herrscht, und darum fließt auch das Wasser mit dem Winde aus der Chinasee, aus der Celebessee durch die Mankassarstraße, und aus der Molukkensee südwärts gegen die Sunda- und Bandasee ab und durch diese ostwärts zur Arafurasee; aber das mannigfache Ineinandergreifen von Land und Wasser bringt eine ganze Reihe von Komplikationen hervor. Wir gehen hierauf jedoch nicht ein, da sie im Maßstab der Karte zum großen Teil nicht darstellbar sind, und da außerdem die große Arbeit von van der Stok (1897) über dieses Gebiet vorliegt. Besonders hingewiesen sei auf die Unsicherheit der Darstellung für die Sulusee, für die nur wenig und schwer zu deutendes Material vorliegt.

Im freien Seegebiet des Nordindischen Ozeans sind im Januar, wie überhaupt zur Zeit des Nordostmonsuns, die gesamten Wassermassen in kräftiger Bewegung nach Westen begriffen. Der Nordäquatorialstrom als Trift des Nordostmonsuns ist das Hauptglied dieser Bewegung. Die scharf in Erscheinung tretende Südgrenze dieser Trift verläuft über den ganzen Ozean hin nahe am Äquator. Von hier bis etwa 7° N und von der Westküste Sumatras bis über 70° O hinaus tritt der Triftstromcharakter rein zutage. Die Stromrichtung liegt der Theorie entsprechend in diesem Gebiet

um volle 45° rechts vom Winde. Die Beständigkeit hat durchschnittlich den Wert von 75—100 %. Das Anwachsen der Stromgeschwindigkeit auf 20 bis 30 Sm gerade südlich Vorderindiens und Ceylons ist bedingt durch die Einengung des Stromes infolge der Küstenform.

Infolge seiner großen Geschwindigkeit behält der Strom auch jenseits der Insel Ceylon noch eine Strecke weit seine westliche Richtung bei, um dann schließlich mit rasch abnehmender Stärke und Beständigkeit in den großen Raum des Arabischen Meerbusens einzuschwenken, so daß eine Art Auffächerung der Wassermassen erfolgt. Im Golf von Manaar und am Kap Komorin treten Aspirationsvorgänge in Erscheinung. Eine um dieses Kap herumsetzende Nordwestströmung, wie sie Schott (1917) verzeichnet, widerspricht unserem Beobachtungsmaterial. Auch nach den Angaben des deutschen Segelhandbuches für die Westküste von Hindustan (1907a) soll eine um das Kap herumsetzende Strömung vorhanden sein, die dann weiter an der Küste heraufläuft. Es kann sich unserer Meinung nach da nur um hart unter Land laufende Neerströme handeln.

Im mittleren Hauptteil des Arabischen Meerbusens herrscht unter der Wirkung des Nordostmonsuns von der Westküste Indiens (20° bis 14° N) bis an die afrikanische Küste in 10° N und bis in den innersten Winkel des Golfes von Aden Südwest- bis Weststrom, wobei der Ablenkungswinkel durchweg kleiner als 45° ist. Diese Monsunströmung, deren mittlere Geschwindigkeit 10 Sm nicht übersteigt und deren Beständigkeit 25—75 % beträgt, erhält an der Westküste Indiens Zufluß in beide Flanken: im Nordosten aus dem Golfe von Oman unter dem Einflusse der dort herrschenden Nordwestwinde, die weiter südlich in den Nordostmonsun übergehen, im Südosten von der Malabarküste her, die durch das hier auf 2700 m ansteigende Küstengebirge vor dem Angriffe des Nordostmonsuns ziemlich geschützt ist. Der Auffassung Schotts, daß entlang der ganzen Westküste Vorderindiens bis hinunter zu 11° N südsüdöstlich gerichtete Strömungen setzen, können wir uns nicht anschließen.

Im Golf von Bengalen zeigt die Strömung einen zyklonalen Wirbel. Es ist leicht zu erkennen, daß er unter dem Antrieb des Nordostmonsuns und unter der Einwirkung der Erdrotation und Küstenkonfiguration zustande kommt. Das Wasser wird durch den Wind von der birmanischen Küste ab und über den Meerbusen westwärts gegen die Koromandelküste getrieben und wird dort durch die Küstengestaltung gezwungen, vorwiegend nach Norden abzufließen. Dadurch kommt es zur Wirbelbildung. Das Zentrum des Wirbels liegt in 88° O und 18° N. Beständigkeit und Stromstärke sind nun im Westteil des Wirbels größer, wo die Bewegung durch die vorgelegene Küste eingeengt wird. Hier entwickeln sich auch in der flachen Küstenbuchtung zwischen Ceylon und der Mündung des Godawari in ungefähr 17° N Neerströme, deren Wasser zum Teil östlich um Ceylon herum in den offenen Ozean gelangt. Abgesehen von diesen wenigen aus dem Golf hinausweisenden Stromfäden und abgesehen von der durch die Malakkastraße nordwestlich in den Golf ziehenden Strömung ist die Wasserbewegung des Golfes von Bengalen als eine in sich geschlossene zu bezeichnen. Schott läßt auf seiner Karte (1917) südlich 11° N das Wasser aus dem Golf herausströmen. Dieser Auffassung entspricht aber weder das holländische noch das deutsche Material.

Die quer über den Arabischen Meerbusen setzende Monsuntrift beherrscht, wie schon erwähnt, den Golf von Aden und gelangt bis in das Rote Meer. Im Golf von Aden treten unter der afrikanischen Küste Neerströme auf, die für die Küstenschiffahrt Bedeutung haben. Die von Schott unter

der arabischen Küste verzeichneten Neerströme können nach unserem Material nur sehr geringe Ausdehnung haben. Mit einer Geschwindigkeit bis zu 10 Sm setzt Wasser aus dem Golf von Aden durch die Straße von Bab el Mandeb in das Rote Meer. Dieses Meer wird von der Strömung nach links umlaufen, wobei an stärker hervortretenden Küstenvorsprüngen oder vorgebauten Korallenriffen Stromfäden von der einen Küste zur anderen hinüberzweigen, wodurch kleine Kreisläufe entstehen. Von der Straße von Bab el Mandeb bis hinauf zu etwa 24° N haben die an den Küsten laufenden Strömungen eine Beständigkeit von 25—50 %, weiter nördlich dagegen von höchstens 25 %, wobei die Geschwindigkeit dieser Küstenströmungen 10 Sm nicht überschreitet. Die abzweigenden Stromfäden sind sehr unbeständig (bis 25 %) und schwach (bis 5 Sm).

Diese Strömungen kommen, wie bereits die Pola-Expedition (1901) in ausgezeichneter Weise gezeigt hat, in der Salzgehalts- und Temperaturverteilung klar zum Ausdruck. Die Winde, die bis etwa 15° N aus Süden bis Südosten kommen, nördlich von 21° N aber aus Nordwesten wehen, so daß in der Mitte des Roten Meeres eine ausgesprochene Windscheide liegt, sind von keinem nachweislichen Einfluß auf das Stromsystem, so daß offenbar Dichteunterschiede zwischen dem einfließenden salzärmeren indischen Wasser und dem namentlich im Norden hochkonzentrierten Roten Meer-Wasser der wichtigste erzeugende Faktor, Erdrotation und Küstengestaltung die ausschlaggebenden modifizierenden Faktoren sind.

Auf unserer Karte 1 ist die Südostströmung entlang der afrikanischen Küste nur zu verfolgen bis etwa 15° N, weil sie infolge ihres salzreichen Wassers allmählich untersinkt, um nun als Unterströmung durch die Straße von Bab el Mandeb in den Golf von Aden zu setzen. Dieser Tiefenstrom ist einwandfrei festgestellt von dem britischen Vermessungsschiff Stork*). Auch die von der afrikanischen zur arabischen Küste hinüberkurvenden Stromfäden salzreichen Wassers sinken auf dem Wege dahin unter**).

Unsere vorzüglich auf den Ergebnissen der Pola-Expedition fußende Darstellung, auf die sich auch Krümmel (1911, S. 685) stützt, wird durch das englische Material, das mit herangezogen wurde (1895), bestätigt.

In den Persischen Meerbusen dringt durch die Straße von Hormus eine aus dem Golf von Oman kommende Strömung ein, die nach Schott (1918), zu dessen Arbeit wir hier in erster Linie greifen, entgegen dem vorherrschenden Wind läuft. Doch wäre es nach Schotts Darstellung der Luftdruckverhältnisse möglich, daß diese Strömung unter der Küste, an die sie hart gedrängt ist, durch östliche bis südöstliche Winde gefördert wird. Sie fließt der persischen Küste entlang nach Nordwesten, anfänglich mit einer Beständigkeit bis zu 75 % und mit Stromstärken bis zu 30 Sm, nimmt aber allmählich im nördlichen Teil des Golfes beträchtlich an Beständigkeit und Stärke ab (bis zu 50% und bis zu 15 Sm). Am Nordende taucht sie, infolge des trockenen Klimas bereits erheblich salzreicher geworden, unter die vom Schat el Arab gespeisten salzarmen Wassermassen unter, die, von den herrschenden Nordwestwinden gestützt, in breiter, aber höchstens 10 Sm starker und wenig beständiger Strömung entlang der arabischen Küste südostwärts setzen, wobei sie rasch an Salzgehalt zunehmen und durch abkurvende Stromfäden, namentlich an der weit vorspringenden Landzunge von El Kato, teilweise zur Nordostströmung hinübergezogen

*) Vgl. Krümmel (1911, S. 686) und „Report on the Undercurrents in the Straits of Bab el Mandeb . . . .“ (1898).

**) Vgl. Polaexpedition (1901). Auf der dort beigegebenen Strömungskarte ist die absinkende Strömung eingezeichnet.

werden, während ein anderer Teil als Tiefenstrom in den Golf von Oman gelangt. Allerdings fehlen hier bisher direkte Strombeobachtungen.

Im Gegensatz zum Roten Meer empfängt der Persische Golf an seinem Nordwestende erhebliche Süßwasserzufuhr, so daß dort die nordwärts, hier dagegen die südwärts strebende Strömung verhältnismäßig salzarm ist. Die im Januar unter der Mekranküste nach Westen setzende Strömung, die den Zufluß zum Persischen Golf speist, ist in unserer Karte 1 nicht eingezeichnet, da sie örtlich so begrenzt ist, daß der Maßstab der Karte dem im Wege stand.

In Weiterführung unserer S. 14 folg. gegebenen Darstellung der Monsuntriften des offenen Nordindischen Ozeans und des Golfes von Bengalen wenden wir uns der Bewegung dieser Wassermassen zwischen 0° und 10° N und westwärts 60° O zu.

Der Verlauf der Wasserbewegung in diesem Raume ist bedingt durch den Anstau gewaltiger Wassermassen gegen die Somaliküste. Der Nordostmonsun treibt nach und nach immer mehr Wasser gegen die Küste. Das Wasser läuft sozusagen auf diese auf, wobei noch die Erdrotation unterstützend mitwirkt, und wird dann gezwungen, entlang der Küste ausschließlich nach Südwesten abzufließen, da offenbar in dem trichterförmigen Golf von Aden noch höhere Wasserstände herrschen. Dabei werden gewaltige Stromstärken erreicht, im Mittel bis zu 60 Sm; doch sind einzelne bedeutend höhere Geschwindigkeiten beobachtet worden.

Der Druck des von Nordosten kommenden heftigen Somalistroms ist an dem Strombild des nördlich Madagaskars abfließenden Zweiges der Südäquatorialtrift deutlich zu erkennen. Denn diese Strömung würde nicht so scharf um die Nordspitze Madagaskars herumbiegen, wenn nicht die Stauwirkung der gewaltigen Wassermassen des Somalistroms sie dazu nötigte. Infolge des Zusammenprallens dieser beiden Strömungen entsteht hart an der afrikanischen Küste in 4°—5° S der Äquatorialgegenstrom.

Der äquatoriale Gegenstrom erstreckt sich als schmales Band über die ganze Breite des Indischen Ozeans bis an die Küste Sumatras. Er wird an seiner Nord- und Südflanke allenthalben, namentlich aber im westlichen Teil seines Verlaufes lebhaft durch abkurvende Stromfäden der Nordostmonsuntrift und des Südäquatorialstroms gespeist. Die mittlere Stromstärke wächst allmählich an, bis sie zwischen 60° und 70° O etwa 40 Sm erreicht, um dann allerdings weiter nach Osten wieder abzunehmen. Die Achse der Gegenströmung, die im Durchschnitt in 5° S liegt und die durch eine Beständigkeit von 75—100 % ausgezeichnet ist, zeigt nördlich Madagaskars eine Ausbuchtung nach Norden. Es ist dies anscheinend eine Fernwirkung der Nordspitze Madagaskars, deren Einfluß wir ja auch schon im Südäquatorialstrom verfolgt haben.

Die wechselnde Stromstärke und die Schwankungen in der Lage seiner Achse drücken deutlich die Tatsache aus, daß entlang dem Strombereiche abwechselnd verschiedene Konstituenten für den Verlauf des Stromes bestimmend sind.

Im Osten, vor Sumatra, schwenken seine Wassermassen vorwiegend in die Trift des Nordostmonsuns ein, während nur ein geringer Teil zum Südäquatorialstrom abbiegt. Der Äquatorialgegenstrom ist also im westlichsten Teil des Ozeans ein Abfluß-, im östlichsten Teil ein Zuflußstrom und somit ein Kompensationsstrom, der dem Ausgleich der Wassermassen dient. Zu- und Abflußbedürfnis sind aber nicht die einzigen Stromkonstituenten des äquatorialen Gegenstroms; er erhält in der westlichen Hälfte seines Verlaufes auch erhebliche Impulse durch den Nordostmonsun, der nach Übertritt

über den Äquator in unserem Strombereich durch die Einwirkung der Erdrotation zu einem Nordwestmonsun umgebogen wird (vgl. Karte 3).

Unsere Karte macht den ersten Versuch, die Beziehungen zwischen Nordostmonsuntrift, Äquatorialgegenstrom und Südäquatorialstrom genauer zu ermitteln und die Grenzen der betreffenden Stromgebiete näher festzulegen*).

Wie bereits erwähnt, setzt der Südast der Passattrift an Madagaskar südlich vorbei auf die afrikanische Küste zu. Ein Teil dieses Wassers fließt, einem Kompensationsbedürfnis folgend, in den Moçambiquekanal, um nach und nach großenteils zu der unter der afrikanischen Küste südwärts setzenden starken Moçambiqueströmung hinübergezogen zu werden. Diese Strömung ist ein Abfluß des Nordastes der Passattrift. Sie erreicht, auch noch vom Winde unterstützt, an dem Küstenvorsprung vor Moçambique und bei der Sambesimündung Stromstärken bis zu 50 bzw. bis zu 60 Sm im Mittel. In der Mitte des Kanals herrschen unbeständige und schwache Strömungen, die südwärts bis etwa 19° S das Bestreben haben, zur Westküste Madagaskars hinüberzukurven und im Verein mit Wasserfäden der Passattrift die an der Westküste dieser Insel nordwärts setzen, in den kräftigen Wirbel einbezogen werden, der unter der heftigen Aspiration des Nordzweiges der Passattrift die Inselgruppe der Komoren linksdrehend umspült.

Weiter im Süden erhält der Moçambiquestrom den Namen Agulhasstrom. Durch die ihm in der linken Flanke zuströmenden, von der Südäquatorialtrift herkommenden Wassermassen gewinnt er an Stärke und Ausdehnung. Auch diese wichtige Beziehung ist auf den früheren Karten nicht erkennbar.

Das interessanteste Gebiet der indischen Wasserbewegung ist der Meeresraum im Süden Afrikas, wo Agulhasstrom und Westwindtrift zusammentreffen. Der Agulhasstrom setzt mit einer Geschwindigkeit von 30—50 Sm und hoher Beständigkeit (70—100 %) an der Südostküste Afrikas entlang. Die höchste Geschwindigkeit wird vor der Südküste des Kaplandes erreicht. Die von Krümmel (1911, S. 673) erwähnten Neeströme auf der Agulhasbank, die sich nach Gilchrist (1902b) von 21°—27° O ausdehnen sollen, sind für die Schiffahrt von Bedeutung, jedoch treten sie auf unseren Übersichtskarten naturgemäß wenig oder gar nicht in Erscheinung, da sie unmittelbar unter der Küste laufen.

Die Westwindtrift kommt mit starker nördlicher Komponente in bedeutender Breite aus dem Atlantischen Ozean. Mittlere Stromstärken bis zu 15 Sm und eine Beständigkeit von 50 bis 75 % zeichnen sie aus. Diese beiden durch das weite Vorspringen Südafrikas hart aneinander gedrängten Strömungen treten in die schon oben S. 8/9 dargelegten Beziehungen. An der Stelle der engsten Aneinanderpressung der beiden Strömungen, etwa in 28° S und 23° O, liegt ein kleiner Wirbel. Es ist klar, daß jedes Pulsieren einer der beiden Hauptströmungen, wie es z. B. durch eine Verstärkung der Strömung oder durch eine Verschiebung der Nordgrenze der Westwinde hervorgerufen werden kann, in denselben Meeresstrich bald warmes, salzreiches indisches, bald kühles, salzarmes atlantisches Wasser bringen muß, und daß auch die vorherrschenden Zyklonen, welche die Westwinde begleiten, teils zur Mischung, teils zu komplizierter Lagerung der hart aneinander gedrängten verschiedenartigen Wassermassen führen müssen. Darauf sind wohl die bekannten scharfen östlichen Temperatur- und Salzgehaltssprünge dieses Gebietes zurückzuführen (Krümmel 1911, S. 673 f., „Planet" 1909, Bd. III, S. 56, 70 u. Taf. 19, „Valdivia" 1902, Bd. I, S. 130 f.). Vielleicht taucht auch zeitweise Wasser des Agulhasstromes unter die Westwindtrift

*) Vgl. hierzu unsere Ausführungen auf S. 9ff.

unter und quillt dann bei heftiger wehenden Westwinden infolge Oberflächenzerrung da und dort empor.

In breiter Trift setzt die Westwindtrift durch den Indischen Ozean nach Australien hinüber. Die Nordgrenze steigt dabei von 40° auf 34° S an. Verfolgt man einen Wasserfaden an der Nordgrenze der Westwindtrift auf seinem Wege durch den Indischen Ozean, so merkt man, daß dieser Anstieg kein kontinuierlicher ist, sondern daß die Wassermassen der Trift etwa von 45° O ab südwärts ausbiegen und erst von 65°—70° O ab wieder nordwärts ansteigen. Diese Ausbuchtung der Westwindtrift im offenen Ozean nach Süden, die übrigens auch durch den Verlauf der Isothermen bestätigt wird, ist schwer zu deuten. Sie kann kaum allein auf Änderungen in der Windrichtung zurückgeführt werden, wenngleich zwischen 35° und 70° O eine stärkere nördliche Komponente in der Windrichtung auftritt (Karte 3); denn im Juli findet sich dieselbe Erscheinung, obgleich in diesem Monate eine Änderung der Windrichtung im ganzen Gebiete nicht auftritt. Auffallenderweise liegt aber die Ausbuchtung genau südlich des großen linksdrehenden Wirbels, der sich mit dem Zentrum in 31° S und 68° O in den Zwischenraum zwischen Südäquatorialstrom und Westwindtrift einschaltet und trotz der Spärlichkeit des Materials als gesichert gelten kann. Man gewinnt den Eindruck, als ob dieser Wirbel trotz seiner schwachen und unbeständigen Strömungen nicht bloß ein sekundäres, den Raum zwischen den beiden Hauptströmungen ausfüllendes Bindeglied sei, dessen Bewegungsrichtung ausschließlich durch die Richtung der primären Ströme und die Einwirkung der Erdrotation bedingt sei, sondern daß er selbst primär angelegt und darum auch imstande sei, die Westwindtrift nach Süden zu drängen. Dieser primäre Faktor müßte wohl in den Windverhältnissen gesucht werden. Die vorhandenen Windbeobachtungen (Karten 3 und 4) lassen allerdings nicht mit Sicherheit entscheiden, ob diese Annahme das Richtige trifft. Dagegen ist das Ansteigen der Nordgrenze der Westwindtrift weiter nach Osten unzweifelhaft auf die Aspiration durch den Südäquatorialstrom zurückzuführen. Dies wird am besten durch die Tatsache bewiesen, daß im Juli, wo der Südäquatorialstrom mit der Sonne sich nordwärts verschiebt, auch die Westwindtrift vor der Westküste Australiens weiter nordwärts, nämlich bis ungefähr 30° S reicht (Karte 2).

Die größte mittlere Stromgeschwindigkeit findet sich nordöstlich von Kerguelen mit 20—30 Sm bei einer Beständigkeit von 75—100 %, fast genau entsprechend dem Gebiete stärkster Entwicklung der Westwinde (vgl. Karte 3) im Januar. Hier herrschen auch wieder nordöstliche Richtungen vor. Weiterhin wird durch den Einfluß des australischen Festlandes die Hauptmasse der Trift in östliche bis südöstliche Richtungen gezwungen. Im Süden Australiens, bis zu etwa 46° S, wird die Westwindtrift infolge der ihr in den Weg tretenden australischen Festlandsküste und der Insel Tasmanien unbeständiger (20—50 %). Auch treten geringere Stromstärken auf als im offenen Ozean (5—10 Sm). Vor dem Spencer Golf fließt das gegen die Küste gestaute Wasser teilweise unter der Küste Süd- und Westaustraliens nach Westen ab, wobei sich ein Wirbel bildet, während andere Wasserfäden nach Südosten abzweigen und durch die Baßstraße gegen den Pazifischen Ozean ziehen. Allerdings liegt für diesen Wirbel und namentlich für das Gebiet westlich Tasmaniens wenig und teilweise sich widersprechendes Material vor, so daß die Feststellung der Stromvorgänge auf Schwierigkeiten stößt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß spätere Beobachtungen das Bild verändern.

Am Kap Leeuwin, um das der Strom hart nach Nordwesten setzt, reicht im Januar der hier schon fast aus Süden kommende Passat bis 37° S, und die ganze Westküste Australiens liegt im Wirkungsbereich dieses Windes. Dadurch wird das Strombild im Westen Australiens bedingt. Links vom Winde strömt das Wasser, gespeist von der Westwindtrift, in den Rücken des Südäquatorialstromes. Einer lokalen Verstärkung des Windes vor der australischen Westküste etwas nördlich von 30° S entsprechen maximale Stromstärken von 10—15 Sm bei einer Beständigkeit von 50—75 %. Nördlich und südlich davon sind die Beständigkeit (25—50%) und die Stromstärke (5 bis 10 Sm) beim Übergang zum Südäquatorialstrom geringer. Krümmel nennt diese Strömung (1911, S. 675) Westaustralstrom und vergleicht sie mit der Benguelaströmung; er meint aber, daß sie als Zufluß für den Südäquatorialstrom nicht viel in Frage käme, weil ein aus Norden und Nordosten kommender, an der nordwestaustralischen Küste entlangsetzender Strom diese Funktion ausübe. Wir haben diesen von Krümmel angenommenen von Norden und Nordosten kommenden Strom, wenigstens im Winter, überhaupt nicht gefunden, müssen vielmehr feststellen, daß die aus südlichen Gegenden kommenden Wassermassen als Ersatz für das durch den Südostpassat fortgeführte Wasser dienen, und daß in dem ganzen Raume zwischen Sundainseln und Australien fächerförmig sich ausbreitender Strom aus Süden bis Südwesten auftritt, der auch nach der Arafurasee hinübersetzt, sich dort mit der östlich gerichteten Bewegung aus der Bandasee vereinigt und dann als Ostströmung durch die Torresstraße in den Stillen Ozean zieht. Stromstärken von 10—15 Sm und eine Beständigkeit von 50—75 % herrschen in diesem Stromgebiet, das dem um diese Zeit über Nordwestaustralien der Timor- und Arafurasee wehenden Südwestmonsun entspricht. In den Buchten der nordwestaustralischen Küste treten infolge der Küstengestaltung unter Land örtlich begrenzte Gegenströmungen auf. Eine Linie vom Nordwestkap Australiens nordnordostwärts hinüber zur Sumbainsel trennt den der Aspiration zum Südäquatorialstrom unterliegenden Meeresraum von dem Wirkungsgebiete des Südwestmonsuns.

Die Strömungen des ganzen Gebietes laufen links vom Winde. Der Betrag der Ablenkung wechselt mit dem Charakter des Stromgebietes und ist örtlich sehr verschieden (siehe Karte 3). Der Westaustralstrom weist eine noch deutlich erkennbare Ablenkung auf, die aber bei weitem nicht die Größe der Ablenkung der reinen Windtrift erreicht. Auf die Ablenkung der Westwindtrift kommen wir weiter unten.

Das große Zirkulationssystem des südlichen Indischen Ozeans haben wir nun in seiner Gesamtheit überschaut. Die primären Strömungen, der Südäquatorialstrom und die Westwindtrift, stehen durch die sekundären Glieder, den Agulhasstrom und den Südzweig der Passattrift, sowie durch den Westaustralstrom in engem Zusammenhang und tauschen ihre Wassermassen gegenseitig aus. Ein großes, vielleicht nicht nur sekundäres Wirbelgebiet schaltet sich zwischen sie ein.

Während die Nordgrenze der Westwindtrift genau festgelegt werden konnte, war das bei der Südgrenze nicht möglich. Denn die Trift dehnt sich über 50° S nach Süden aus, und für dieses Gebiet liegt nur wenig Material vor, da mit Ausnahme einiger Robbenjäger nur Schiffe wissenschaftlicher Expeditionen das südlichste Gebiet der Westwindtrift und das anschließende antarktische Stromgebiet befahren haben. Es sind nur so wenige Strombeobachtungen vorhanden, daß hier nur ein erster roher Versuch geboten werden kann, antarktische Meeresströmungen darzustellen, die ja bislang auf den Stromkarten fast vollständig gefehlt haben.

Um die Kritik der Karten zu erleichtern, sei das Material in folgender Tabelle zusammengestellt.

Stromversetzungen im antarktischen Gebiet.

Position der Strombeobachtung		Strom- richtung	Strom- geschwindigkeit	Beobachtungsschiff	Position der Strombeobachtung		Strom- richtung	Strom- geschwindigkeit	Beobachtungsschiff	Position der Strombeobachtung		Strom- richtung	Strom- geschwindigkeit	Beobachtungsschiff
50° S	71° O	99°	12 Sm	G.*)	55° S	83° O	26°	8 Sm	G.	62° S	59° O	schwach,	SO-Strom	V.
50	123	132	6	C.	56	7	308	10	V.	62	77	295°	7 Sm	G.
51	7	196	13	V.	56	14	64	30	V.	62	95	100	3	G.
51	69	87	21	G.	56	32	östl.	—	V.	62	95	10	13	C.
51	71	96	12	C.	56	85	68	11	G.	62	96	116	23	C.
51	72	136	24	G.	56	103	20	18	C.	62	98	357	22	C.
51	115	132	6	C.	57	75	62	23	C.	63	54	203	8	V.
52	69	20	8	V.	57	87	10	17	G.	63	79	225	6	C.
52	71	99	13	C.	58	43	112	12	V.	63	88	320	9	C.
53	6	92	13	V.	58	65	108	4	V.	63	90	83	10	C.
53	69	97	17	G.	58	70	80	9	G.	63	92	147	12	C.
53	71	267	13	C.	58	90	260	3	G.	63	92	264	28	G.
53	72	268	13	C.	59	40	150	9	V.	63	93	294	11	G.
53	74	54	19	G.	59	47	161	9	V.	63	94	316	5	C.
53	78	75	12	G.	59	76	57	14	C.	63	95	10	13	C.
53	108	19	18	C.	59	91	260	3	G.	64	81	341	19	C.
53	109	35	15	C.	59	100	19	18	C.	64	84	51	18	C.
54	4	160	6	V.	60	50	227	17	V.	64	85	51	18	C.
54	25	92	7	V.	60	52	110	9	V.	64	86	326	14	C.
54	67	351	2	V.	60	71	45	14	G.	64	94	119	10	C.
54	73	51	19	C.	60	78	62	22	C.	65	78	250	15	C.
54	81	50	13	G.	60	80	62	22	C.	65	78	332	6	C.
54	107	20	19	C.	60	92	115	12	G.	65	79	198	3	C.
55	5	96	28	V.	61	61	135	1	V.	66	78	335	7	C.
55	18	287	12	V.	61	73	278	8	C.	66	91	165	15	G.
55	21	56	5	V.	61	80	225	6	C.					
55	29	236	5	V.	62	53	45	2	V.					

*) C. = Challenger-Expedition, G. = Gauß-Expedition, V. = Valdivia-Expedition.

Wie in dem soeben behandelten Hauptteil des Südindischen Ozeans beherrschen auch in dem Gebiet zwischen 50° S und der antarktischen Festlandsküste zwei primäre, annähernd parallel, aber entgegengesetzt gerichtete Strömungen mit ihren sekundären Gliedern das Bild der Erscheinungen. Es sind dies die, wenigstens in ihrem Verlauf nördlich 50° S, schon beschriebene Westwindtrift im Norden und die entlang der Küste des antarktischen Kontinents setzende Westströmung im Süden. Letztere Strömung, die bereits von Wilke (1845) erkannt wurde, muß offenbar in den rings um den antarktischen Kontinent vorherrschenden kräftigen Ostwinden, die ihrerseits durch die antarktische Antizyklone bedingt sind, eine Hauptenergiequelle haben (1911a, S. 323 f.).

Diese Ostwindtrift müßte sich unter Einwirkung der Erdrotation allenthalben hart an die Küste drängen. Andererseits muß das Bestreben der antarktischen Schmelzwässer, nach Norden abzufließen, dieser Strömung namentlich im Südsommer eine nördliche Komponente verleihen, wenngleich auch diese Bewegung durch die Erdrotation nach links abgelenkt wird (vgl. Krümmel 1911, S. 682). Diese beiden primären Strömungen sind nun durch sekundäre Glieder miteinander verbunden. Im Westen des Ozeans setzen Wasserfäden der Westwindtrift in breiter, über 60° O hinausreichender Front zur antarktischen Westströmung hinüber, im Osten des Ozeans, etwa 100° O, fließt umgekehrt Wasser der antarktischen Küstenströmung zur Westwindtrift ab, wodurch die Mächtigkeit der Küstenströmung sehr ver-

ringert wird. In dem Zwischenraum zwischen beiden Gebieten, in etwa 60—100° O, zeigen die Stromversetzungen ein nicht leicht zu enträtselndes Bild. Es kann am besten als rechtsdrehender Wirbel aufgefaßt werden, der sich ganz natürlich zwischen die beiden primären Strömungen im Norden und Süden, der südsetzenden Bewegung im Westen und der Nordströmung im Osten einschaltet und auch durch die Einbuchtung des antarktischen Kontinents begünstigt wird.

Eine sichere Erklärung für die Anordnungen der sekundären Glieder dieses Stromgebietes im Westen und Osten des Ozeans kann heute um so weniger gegeben werden, als ja die ganze Darstellung auf recht spärlichem Material beruht. Allerdings wird unsere Auffassung gestützt durch den Verlauf der in die Karte eingetragenen Packeisgrenze*), die dort (30 bis 60° O) weit nach Süden vorspringt, wo das wärmere Wasser der Westwindtrift südwärts setzt und dort (90—130° O) am weitesten nördlich liegt, wo kaltes Schmelzwasser zum Abfluß gelangt. Aus der Betrachtung der Karte gewinnt man den Eindruck, als ob die beiden eben erwähnten Glieder unseres Stromsystems in erheblichem Maße durch die Wasserbewegung an der Nordseite der Westwindtrift bestimmt wären. Im Westen des Ozeans, wo große Wassermassen des Südäquatorial- und des Agulhasstroms zur Westwindtrift abzweigen, gibt sie ihrerseits Wasser nach Süden ab; im Osten des Ozeans, wo sie umgekehrt erhebliche Wassermassen an die Passattrift abgibt, aspiriert sie andererseits Wasser von Süden her.

Sollten diese Vorstellungen zutreffen, so müßte man in dem Raume zwischen Westwindtrift und antarktischem Festlande auch in den beiden anderen Ozeanen im Prinzip dasselbe Strömungssystem antreffen, denn die verursachenden Faktoren hätten da wie dort dieselbe räumliche Anordnung. Der Verlauf der Packeisgrenze im Atlantischen und Pazifischen Ozean scheint dafür zu sprechen. Wir hätten demnach im gesamten antarktischen Stromgebiet drei große Zirkulationssysteme zu erwarten, indem das Schmelzwasser an der Ostseite eines jeden Ozeans nordwärts abfließt, an der Westseite des östlich benachbarten zum großen Teil wieder südwärts setzt, wobei die erwähnten Vorgänge an der Nordseite der Westwindtrift für das örtliche Auftreten der Erscheinungen von großer Bedeutung wären.

Diese Systeme wären es, die den um die ganze Erde reichenden Gürtel beständiger Ostströmung so weit in bezug auf Richtung und Stärke beeinflussen, daß nicht mehr von einer reinen Windtrift gesprochen werden kann (Krümmel 1911, S. 680).

Vergleichen wir nunmehr auf Karte 3 Wind- und Stromrichtung der Westwindtrift bis 50° S, so finden wir im allgemeinen den Strom um einen nicht viel von 45° abweichenden Winkel links vom Winde liegen; das bedeutet also, daß bis zu dieser Breite die Triftkomponente im großen ganzen ausschlaggebend ist. Die Abweichungen im einzelnen sind gegenwärtig wohl noch nicht zu erklären. Der sehr geringe Winkel zwischen Wind und Strom im Süden Australiens dürfte auf den Einfluß der Küste zurückzuführen sein.

b. Die Julikarte.

Im Nordindischen Ozean, einschließlich des Malaiischen Mittelmeeres, haben sich mit dem Wechsel des Monsuns auch die Strömungen verkehrt. An die Stelle des Äquatorialgegenstroms ist ein großer Stromwirbel getreten.

*) Die in die Karten eingetragene Packeisgrenze ist die Grenze des äußersten Vorkommens von Packeis. Der Verlauf der Packeisgrenze ist übernommen von Roald Amundsen (1912b). Amundsens Grenze ist mit der von Fricker (1898a) festgelegten verglichen worden; dabei hat sich eine leidlich gute Übereinstimmung ergeben.

Die durch die primären Stromvorgänge bedingten Abfluß- bzw. Zufluß-ströme haben ebenfalls die Richtung gewechselt. Im mittleren und südlichen Indischen Ozean haben sich der Südäquatorialstrom und die Westwindtrift nach Norden verschoben.

Der Südäquatorialstrom ist im Juli nach Richtung einheitlicher als im Januar, ist auch entsprechend dem um diese Jahreszeit kräftiger wehenden Passat bedeutend beständiger und, wenigstens im östlichen Teile der Trift, auch kräftiger. Reine Westrichtung, die erst vor Madagaskar allmählich in nordwestliche bzw. südwestliche Richtung übergeht, herrscht vor. Besonders in dem Breitengürtel von 10—20° S tritt die Strömung als einheitliches Ganzes in Erscheinung. Mit wenigen Ausnahmen — vor der Küste Madagaskars und östlich 100° O im Zuflußgebiet — herrschen in diesem Gürtel Stromstärken von 10—15 Sm und eine Beständigkeit von 75—100%. Die Strömung läuft zwischen 100° O und etwa 65° O links vom Winde und gibt sich dadurch als Windtrift zu erkennen. Sie ist namentlich in ihrem östlichen Teile nach Norden verschoben, entsprechend dem vom Gange der Sonne bedingten Nordwärtswandern des Südost-Passates, das 5°, stellenweise sogar 10° beträgt.

Dies ist von großer Bedeutung für die Entwicklung der Zuflußströme, die nunmehr ganz anders als im Januar verlaufen. Ganz abgesehen von dem später zu behandelnden kräftigen Zufluß aus der Südwestmonsuntrift, erhält der Südäquatorialstrom nunmehr auch aus der Timor-, Arafura- und Bandasee, sowie durch die Passagen zwischen den malaiischen Inseln aus Sunda- und Javasee Zufuhr, was im Januar schon wegen der dann dort herrschenden südöstlichen bis östlichen Wasserbewegung ausgeschlossen ist. Andererseits ist im Juli der Wasserersatz aus dem Südosten erheblich geringer, und der Westaustralstrom ist im Sommer nur in Rudimenten vorhanden: die Hauptzufuhrquellen liegen nunmehr im Osten und Nordosten*).

Im Westen etwa zwischen 60 und 80° O reicht der Südäquatorialstrom gleichzeitig auch weiter nach Süden als im Januar, ebenfalls in Übereinstimmung mit der größeren Ausdehnung, Beständigkeit und Stärke des Passates in diesem Gebiete.

Der Südostpassat geht etwa in der Zone 0—5° S in den Südwestmonsun über, der den Nordindischen Ozean beherrscht. Dementsprechend stehen auch die Passat- und Monsunströmungen in unmittelbarem Zusammenhang, und ihre äquatorialen Grenzen sind nicht scharf ausgeprägt.

Die Wurzel der Teilung zwischen Nord- und Südzweig des Südäquatorialstroms liegt in 64° O und 23—24° S, also südlicher und näher an Madagaskar heran als im Januar. Die südlichere Lage der Stromspaltung ist bedingt durch die nördlichere Lage des Südäquatorialstroms. Das Herantücken der Spaltung an die Insel ist wohl die Folge der größeren Stärke und Beständigkeit des Windes. Der Nordzweig der Trift geht zwischen 10° S und dem Äquator in Übereinstimmung mit den Windverhältnissen (Karte 4) in breitem Bande in die Südwestmonsuntrift über, wobei er zwischen den Komoren, der Aldabra- und Providence-Insel eine stärkere nördliche Komponente als im Januar und in Schotts Darstellung (1917) besitzt. Vor der Küste Deutsch-Ostafrikas werden mittlere Stromstärken von 70 Sm erreicht. Im Gegensatz zum Januar erhält der Strom auch hier noch kräftigen Windimpuls, doch der Stau durch die Küste und die Annäherung an den Äquator bewirkt, daß die Linksablenkung nur noch sehr gering ist.

*) Die Tatsache, daß der Indische Ozean im Norden vollkommen abgeschlossen, andererseits gegen die hocherwärmten australischen Gebiete teilweise geöffnet ist, während aus höheren Südbreiten kühleres Wasser in den Nordindischen Ozean überhaupt nicht überzutreten vermag, ist eine Hauptursache der ungewöhnlich hohen Erwärmung des Nordindischen Ozeans.

Nordwärts des Äquators herrscht Südwestmonsuntrift. Vor der Somaliküste erreicht sie im Somalistrom mittlere Stromstärken von 70 bis 80 Sm, ja gelegentlich wurden schon bis zu 120 Sm beobachtet. In seinem ganzen Bereich, vom Äquator bis 10° N verliert der Somalistrom an seiner Außenflanke große Wassermassen, die, ostwärts kurvend, zur Bildung des großen rechtsdrehenden Wirbels beitragen, der den Raum zwischen Monsuntrift und Südäquatorialstrom erfüllt.

Bei Kap Guardafui vereinigt sich dieser heftige Strom mit der ebenfalls in nordöstlicher Bewegung begriffenen Strömung aus dem Golf von Aden, um dann als breite Trift den Arabischen Meerbusen nördlich 10° N auszufüllen. Die anfänglich nordöstliche Stromrichtung geht dabei weiterhin in ostnordöstliche und östliche Richtung über, bis dann schließlich die Westküste Vorderindiens das Abschwenken der Wassermassen in südöstliche Richtungen erzwingt. Im Arabischen Meerbusen nimmt die Stromstärke, die östlich von Kap Guardafui noch 30—40 Sm beträgt, allmählich ab; östlich 60° O werden im allgemeinen 20 Sm nicht überschritten. Die Einengung durch die Malabarküste macht sich in einer erneuten Zunahme der Stromgeschwindigkeit bis zu 30 Sm fühlbar. Die Beständigkeit ist im ganzen Gebiet sehr groß, sie beträgt 75—100%.

Die eben geschilderten Vorgänge, im besonderen die verblüffend hohen Stromstärken vor der Somaliküste, sind die Folge des Zusammenwirkens einer ganzen Reihe von Faktoren.

Gegen die Somaliküste werden, wie schon oben angeführt, von Süden her die rasch fließenden Wassermassen des Nordzweiges des Südäquatorialstroms gedrängt. Das Vorspringen der Halbinsel und der heftige, ihr entlang wehende Südwestmonsun müssen naturgemäß die Strömung noch verstärken. Dazu tritt schließlich die Kompensationsforderung für die große Monsuntrift des Arabischen Meerbusens, die vorzüglich durch den Somalistrom geleistet werden muß, da der im Rücken fast vollständig geschlossene Golf von Aden großen Ersatz nicht zu leisten vermag. Das Abkurven von Wasser des Somalistroms steht in Übereinstimmung mit den kräftigen, in breitem Bande vor der Küste wehenden Südwestwinden, die unter der Einwirkung der Erdrotation Oststrom erzeugen müssen. Wäre die Kompensationsforderung für den Arabischen Meerbusen nicht so außerordentlich groß, so müßte man sogar erwarten, daß noch viel mehr Wasser des Somalistroms nach Osten abkurvte, zumal dem hier liegenden Wirbelgebiete durch den Südäquatorialstrom sehr viel Wasser entzogen wird.

Trotz der starken Zufuhr von Süden her vermag der Somalistrom nicht allen diesen Anforderungen zu genügen. Es tritt darum an der Küste Kaltwasserauftrieb ein (Puff 1890a), der übrigens nicht nur für die Somaliküste bei Ras Hafun und Kap Guardafui, sondern auch für den Golf von Aden nachgewiesen ist.

Die Einwirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation läßt sich in dem ganzen Gebiet nachweisen. Interessant ist der sofortige Richtungswechsel der Ablenkung am Äquator. Wir ersehen aus Karte 4, daß noch hart südlich des Äquators die Strömung links vom Winde läuft, während sie sofort nach Überschreiten des Äquators rechts vom Winde liegt. Auffallend ist allerdings der geringe Ablenkungswinkel im Arabischen Meerbusen, trotzdem hier der sehr kräftige Monsun unzweifelhaft die treibende Kraft sein muß. Die Ursache liegt offenbar in einem geographischen Moment, dem Abschluß im Nordwesten und der Öffnung im Südwesten. Denn dem Südwest- bis Westsüdwestmonsun entspräche ein Ost- bis Ostsüdoststrom, der seine Wassermassen von der arabischen Küste wegholen müßte.

Das erforderte einen gewaltigen Auftrieb, der offenbar mehr Energie beansprucht als der Ersatz durch den Somalistrom und darum diesem gegenüber zurücktritt. Der Ersatz aus dem Südwesten muß aber eine Verminderung der Ablenkung im Arabischen Meerbusen hervorrufen.

Um Kap Komorin und Ceylon herum schwenken die Wassermassen in die Monsuntrift ein, die das Gebiet südlich des Bengalischen Meerbusens bis zum Äquator erfüllt. Hier beträgt die Ablenkung gegenüber der Windrichtung 45°; denn dieses Gebiet ist im Gegensatz zum Arabischen Meerbusen im Westen, woher die Kompensation für das abtriftende Wasser kommen muß, frei geöffnet, so daß ein Grund für eine Abweichung vom gesetzmäßigen Verhalten nicht vorliegt.

In dem Raume zwischen Äquator und 10° S und 50—90° O war bisher die Kenntnis von der Wasserbewegung eine lückenhafte und die Darstellung auch der neuesten vorliegenden Karten unbefriedigend. Von diesem Übergangsgebiet von der Monsuntrift zur Passattrift wußte man nur, daß dort sehr unbeständige und schwache Strömungen aller möglichen Richtungen anzutreffen waren. An Material herrscht allerdings in diesem Gebiet kein Mangel, sieht man etwa von den Zehngradfeldern von 0—10° S und 50—60° O ab, aber die Aufarbeitung der Stromdaten stößt infolge der stark wechselnden und unbeständigen Richtungen auf erhebliche Schwierigkeiten.

Das ganze weite Gebiet, das im Januar der Äquatorialgegenstrom beherrscht, wird im Juli von einem großen rechtsdrehenden Wirbelgebiete eingenommen. Dieser Wechsel der Erscheinungen wird durch die Änderung in den primären Strömungen verursacht.

Im Januar schaffen Südäquatorialstrom und Nordostmonsuntrift die Wassermassen nach Westen, und der Äquatorialgegenstrom führt sie, teilweise durch den Wind unterstützt, zurück. Im Juli hat die Monsuntrift ihre Richtung verkehrt, und für das Zwischengebiet der beiden primären Strömungen liegt nun der Fall analog wie, während des ganzen Jahres, zwischen Südäquatorialstrom und Westwindtrift: der eine Strom führt Wasser nach Westen, der andere nach Osten, und dazwischen besorgt ein großer Stromwirbel als vorwiegend sekundäres Gebilde den Wasseraustausch. Entsprechend der entgegengesetzten Richtung der beiden Hauptströmungen erfolgt auch das Drehen der beiden Wirbel in entgegengesetzter Richtung. Da wie dort wird die Wirbelbildung teilweise durch Windwirkung unterstützt, aber z. T. läuft doch der Strom, wenn man die Ablenkung durch die Erdrotation berücksichtigt, dem Wind geradezu entgegen (70—90° O, 0—5° S). Der Hauptunterschied zwischen den beiden Wirbelgebieten besteht darin, daß der Wirbel zwischen Monsuntrift und Südäquatorialstrom wesentlich komplizierter ist als der zwischen Südäquatorialstrom und Westwindtrift.

Von erheblichem Einfluß auf die Unsymmetrie des nordhemisphärischen Wirbels ist unzweifelhaft das weite Vorspringen der vorderindischen Halbinsel nach Süden, wodurch das scharfe Umbiegen der Monsuntrift bedingt und Anlaß zur Bildung eines eigenen Wirbels im Nordwestindischen Ozean gegeben wird. Indem nun durch den südlich und südöstlich Ceylons noch stark und beständig wehenden Monsun ein erheblicher Teil seiner Wassermassen nach Osten abgezogen und erst durch die vorgelagerte Küste Sumatras zum Abschwenken nach Südosten in die Südäquatorialtrift veranlaßt wird, entsteht die eigentümliche Auseinanderzerrung des Wirbels. Die Kontinuität der Wasserbewegung erfordert nun, daß zwischen den auseinanderstrebenden westlichen und östlichen Teilen des Wirbels eine verbindende Wasserbewegung auftritt. So schaltet sich zwischen die

ost- bis südostwärts setzenden Strömungen vor Sumatra (5° N—3° S. 80—100° O) und die südwestwärts setzenden Wassermassen weiter im Westen (0—10° S, 60—70° O) die im ersten Augenblick schwer verständliche, dem Winde entgegenlaufende Strombewegung mit südwärts gerichteten Stromfäden (0—10° S, 70—90° O) ein. Sobald man aber erkennt, daß es sich hier nur um eine ausgleichende Bewegung, ein Zwischenglied zwischen den Strombewegungen im Westen und Osten, handelt, wird auch dieser Teil des Strombildes und auch die Tatsache verständlich, daß in diesem Zwischengliede der Strom schwächer und unbeständiger als in den bedingenden Stromfeldern im Westen und Osten fließt.

Ein großer Teil der Wassermassen der Monsuntrift geht also über zur Passattrift und bildet einen ihrer Hauptzuflüsse (vgl. oben). Ein anderer Teil setzt als kräftige (15—20 Sm) und beständige (50—75%) Nordostströmung in den Golf von Bengalen hinein und erfüllt ihn zum großen Teil. Seine Wassermassen stauen sich an der Nordostumrandung des Golfes. Vor der Irawadimündung tritt Stromspaltung ein. Die nach Süden abfließenden Wassermassen bilden im südlichen Teil des Andamanischen Randmeeres einen kleinen rechtsdrehenden Wirbel, der auch durch die Malakkastraße Zufluß erhält. Sein Zentrum liegt in etwa 8° N und 96° O. Die nach Nordwesten abfließenden Stromfäden bilden einen langgestreckten linksdrehenden Wirbel in der flachen Küstenbuchtung zwischen dem Gangesdelta und Ceylon.

Sehr auffällig ist aber die Tatsache, daß die große Nordostströmung des Golfes nicht rechts vom Winde fließt. Man muß daher annehmen, daß der Erdrotation eine andere nach links wirkende Kraft ungefähr das Gleichgewicht hält. Diese Kraft dürfte in den Dichtedifferenzen zwischen den randlichen und zentralen Teilen des Golfes gegeben sein. Denn im Sommer, zur Zeit der Monsunregen, sind die Ströme sehr wasserreich, und die Randgebiete müssen dann wesentlich salzärmeres und daher leichteres Wasser als die mittleren Teile besitzen. Diese Dichteverteilung müßte wieder unter Einwirkung der Erdrotation einen linksdrehenden Wirbel hervorrufen.

Diese linksdrehende Kraft hält offenbar im Hauptteil des Golfes der rechts ablenkenden Kraft der Erdrotation das Gleichgewicht, und so fallen Wind- und Stromrichtung zusammen. Bezeichnenderweise vermag sich die nach links wirkende Kraft in der Küstenbuchtung zwischen Gangesmündung und Ceylon durchzusetzen, die einerseits im Lee des Windes, andererseits im Gebiet stärkster Süßwasserzufuhr liegt und zugleich eine topographische Begünstigung für einen linksdrehenden Wirbel darstellt. Nach rechts sahen wir dagegen die Wasserbewegung im Andamanischen Randmeer drehen, wo wir uns im Luv des Windes und in topographischer Begünstigung für ein Rechtsdrehen befinden.

Entgegen unserer Darstellung ist auf der Schottschen Karte von 1917 die Wasserbewegung des Golfs von Bengalen als einheitlicher, nur in entgegengesetzter Richtung wie im Januar drehender Wirbel dargestellt, ausgenommen das Andamanische Randmeer, wo die Darstellung unserem Strombild ähnlich ist, wenngleich im Süden der Wirbel fehlt.

Krümmel (1911, S. 669) nimmt im nördlichen Teil des Golfes ebenfalls einen linksdrehenden Wirbel an, über dessen Ausdehnung er sich aber nicht ausspricht; der Wirbel im südlichen Andamanischen Randmeer ist ihm nicht bekannt.

Wir lassen nunmehr die Erörterung der Wasserbewegung in den Nebenmeeren folgen.

Das malaiische Mittelmeer hat entsprechend der Wind-

umkehr auch Stromumkehr. Es haben also Banda-, Sunda-, Java- und Celebessee westlich gerichtete Strömung, die in der südlichen Chinasee in nordöstlich gerichtete Monsuntrift übergeht; dagegen hat die Mankassarstraße südlich gerichteten Strom.

An der Südostküste der Malaiischen Halbinsel und von Annam läuft starker Strom (20—30 Sm), da sich die Wassermassen in dem konkaven Bogen, den die Küsten von Südostsumatra, der Malaiischen Halbinsel und Annam bilden, stauen.

Der Golf von Siam hat nunmehr im Gegensatz zum Januar linksherumlaufenden Strom. In dem seichten, im Lee des Windes liegenden Seeraum vor den Nordwestküsten Borneos und der Palawaninseln herrschen schwache unbeständige, an diesen Küsten entlang nach Süden setzende Strömungen, die eine Gegenströmung zu bilden scheinen. Die Monsuntrift der Chinasee setzt durch die Formosastraße, den Baschi- und Balingtangkanal in den Stillen Ozean hinaus.

Die Wasserbewegung des Persischen Golfs zeigt im Juli so geringe Unterschiede gegen den Januar, daß nicht weiter darauf eingegangen zu werden braucht; dagegen ist der Verlauf der Strömungen im Roten Meer gegenüber dem Januar erheblicher, wenn auch nicht prinzipiell verändert. Im Juli läuft die Strömung im Roten Meer zwar ebenso wie im Januar links herum, denn die Ursachen für dieses System sind ebenso wie im Persischen Meerbusen das ganze Jahr hindurch, wenn auch in wechselnder Stärke vorhanden. Die auf der arabischen Seite nach Norden setzende Strömung ist allerdings sehr unbeständig geworden (höchstens 25%). Sie hat an Ausdehnung verloren und schon im südlichen Teil des Roten Meeres setzt das Einkurven zu der auf der afrikanischen Seite laufenden Südströmung in verhältnismäßig großem Umfange ein. Die Südströmung hat an Ausdehnung gewonnen, ein Abkurven nach Osten tritt nicht auf, wenigstens nicht an der Oberfläche. Die Unbeständigkeit der Nordströmung und die größere Ausdehnung der Südströmung wird dadurch hervorgerufen, daß im Juli und August von Suez bis Perim sehr beständiger Nordwestwind herrscht. Dieser Wind und der schon im Golf von Aden wehende Südwestmonsun bewirken auch, daß entgegen dem Niveauunterschied, der sich aus den Dichteunterschieden ergeben würde, nunmehr die Oberflächenströmung aus dem Roten Meer heraus in den Golf von Aden setzt. Vermutlich setzt um diese Jahreszeit durch die Straße von Bab el Mandeb zwischen diesem Oberflächenstrom und der salzreichen schweren Tiefenströmung eine salzarme Strömung nach innen.

Wir wenden uns dem Verlauf der Strömungen im südlichen Indischen Ozean zu, indem wir mit der Betrachtung des Südzweiges des Südäquatorialstroms von der Gabelung östlich Madagaskars beginnen.

Der Südzweig des Südäquatorialstroms ist wesentlich schwächer als im Januar, da bei der nördlichen Lage der Stromspaltung östlich Madagaskars mehr Wasserfäden in den Nordzweig eingehen. Da ferner der größte Teil des Wassers um die Südspitze Madagaskars herum in den Kanal von Moçambique strömt, um unter der Küste Madagaskars nach Norden zu setzen und dann in den Nordzweig des Südäquatorialstroms überzugehen, erhält der Agulhasstrom von Osten her im Juli nur wenig Zufluß. Auch der Moçambiquestrom ist schwächer geworden und hat an Ausdehnung verloren. In der Mitte des Kanals von Moçambique kurven Stromfäden vom Moçambiquestrom zur madagaskischen Nordströmung hinüber.

Mit dem Abnehmen seiner Zuflüsse verliert auch der Agulhasstrom im Juli an Ausdehnung und Stärke und setzt in verhältnismäßig

geringer Breite an der Südküste Afrikas entlang. Die jahreszeitliche Schwankung der Ausdehnung und Stärke des Agulhasstroms, die Krümmel (1911, S. 573) für nicht vollständig erwiesen erachtete, steht jetzt fest. Sie wird durch Ursachen hervorgerufen, die teils auf den Agulhasstrom selbst, teils nur auf seine Zuflüsse einwirken.

Im Nordwinter entsteht in der Bucht von Sansibar durch das Zusammenfließen der Nordostmonsuntrift und des Nordzweiges des Südäquatorialstroms ein gewaltiger Wasseranstau, der nicht nur zur Entwicklung des Äquatorialgegenstroms, sondern auch zur Ausbildung eines kräftigen südwärts fließenden Moçambiquestroms Veranlassung gibt, der seinerseits noch vom Winde gefördert wird und bei der südlichen Lage der Stromspaltung östlich Madagaskars sehr viel Wasser vom Südzweig des Südäquatorialstroms erhält, dessen Zufluß ebenfalls vom Winde unterstützt wird.

Im Nordsommer saugen der Nordwestmonsun und die im ganzen Gebiet zwischen Madagaskar und Ostafrika von 30° S bis zum Äquator herrschenden südlichen Winde die Wassermassen dieser Regionen nord- und nordostwärts ab, so daß der Moçambiquestrom sehr viel schwächer als im Nordwinter fließt und während des größten Teiles seines Laufes Wasser an die Nordströmung unter der madagaskischen Küste abgibt, die unter den obwaltenden Umständen ohnehin einen erheblichen Teil des Wassers vom Südzweig der Südäquatorialströmung nordwärts entführt und dem Agulhasstrom entzieht. Dieser fließt demnach aus vierfachem Grunde: wegen der Schwäche der Moçambiqueströmung und des Südzweiges der Südostpassattrift und wegen derer beiderseitiger Wasserabgabe nach Norden sehr viel schwächer als im Nordwinter.

Infolge der geringeren Ausdehnung des Agulhasstroms rückt die Nordgrenze der Westwindtrift — die Trift selbst kommt wieder mit starker nordöstlicher Komponente aus dem Atlantischen Ozean — schon im Süden Afrikas bis 38° S vor. Die Wasserbewegung im Gebiete des Zusammentreffens beider Strömungen zeigt im Januar und Juli dasselbe Bild, so daß wir auf die oben gemachten Ausführungen verweisen können. Daß für beide unabhängig voneinander bearbeiteten Monate dieselben Stromvorgänge erschlossen wurden, spricht für die Richtigkeit der neuen Auffassung.

Der Schottschen Darstellung dieses Gebietes (1917) liegt eine von der unseren abweichende Auffassung des dabei auftretenden Verlaufs der Wasserbewegung zugrunde. Schott läßt den Agulhasstrom auch entgegen den Ergebnissen Krümmels (1885, S. 36 ff.) nur bis 16° O vordringen; er läßt die roten Stromlinien, die das warme Agulhaswasser bezeichnen, im Süden Afrikas umbiegen und eingehen in die blauen Stromlinien, die die Westwindtrift bezeichnen. Dabei durchkreuzen sich rote und blaue Linien derart, daß es den Eindruck macht, als ob Fäden warmen Wassers Fäden kalten Wassers durchschnitten. Es ist wohl zu vermuten, daß Schott in dem Bestreben, das häufig beobachtete enge Nebeneinandervorkommen von kalten und warmen Wasserfäden (vgl. oben S. 18) auf der Karte zum Ausdruck zu bringen, zu seiner Darstellung gelangt ist. Hierbei mag er durch die Ansicht Toynbees bestärkt worden sein, daß sich hier Zungen kalten Wassers zwischen Zungen warmen Wassers schieben, wie sich die Finger zweier flach auf den Tisch gelegten Hände ineinanderschieben lassen, die auch Krümmel zu der seinigen macht (1911, S. 673) und die letzterer dahin erweitert, daß der Agulhasstrom in einzelne Teile zersplittert. Wir verweisen in diesem Zusammenhang nochmals auf unsere Abbildung 1, indem wir feststellen, daß sowohl die in dem holländischen Tabellen- und Kartenwerk verarbeiteten Beobachtungen, wie die Angaben des deutschen Stromwerkes mit Schotts Darstellung nicht in Einklang zu bringen sind.

Die Nordgrenze der Westwindtrift, die wir im Süden Afrikas bei 38° S festgestellt haben, verläuft bis etwa 50° O genau ostwärts in ungefähr 37° S. Ab 50° O erhält die Strömung eine schwache südliche, ab 70° O wieder eine stärkere nördliche Komponente und erreicht zwischen 100—110° O in etwa 30° S ihre nördlichste Lage. Während Verlauf und Nordgrenze im westlichen und mittleren Teil des Ozeans in beiden Jahreszeiten einigermaßen übereinstimmen, fällt die starke Nordwärtsverschiebung der Nordgrenze im östlichen Teil des Ozeans auf. Sie ist klarerweise durch das Nordwärtsrücken des Passates bedingt, der im Juli als schwacher unbeständiger Wind kaum bis 30° S reicht, während er sich im Winter in größerer Stärke und Beständigkeit bis über 35° S ausdehnt. Über den Verlauf der Südteile der Westwindtrift kann nichts ausgesagt werden, da ja südlich 50° S für den Juli die Darstellung der Januarkarte entnommen ist.

Im ganzen verläuft die Westwindtrift im Juli mehr in östlicher Richtung als im Januar. Zwischen 60 und 100° O zeigt die Januarkarte nördlichere Stromrichtungen und höhere Stromgeschwindigkeiten als die Julikarte. Dieser Unterschied ist auf den Einfluß der bedeutend größeren Schmelzwassermassen des Südsommers gegenüber denen des Südwinters zurückzuführen. Und wäre die Westwindtrift nicht in ihrem weiteren Verlauf gezwungen, dem australischen Festlande auszuweichen, so müßte diese Richtungsänderung vom Sommer auf Winter noch viel ausgeprägter auftreten. Auch der jahreszeitliche Unterschied in der Beständigkeit und Stärke der Strömungen erbringt den Beweis dafür, daß sie keine reine Windtrift ist. Denn würde eine reine Windtrift ausgebildet, dann müßte, da im Juli die Westwinde sowohl beständiger wie auch stärker als im Januar wehen, die Strömung auch im Juli stärker und beständiger sein als im Januar. Das Umgekehrte ist der Fall. Ferner liegt der Strom zwar im allgemeinen links vom Winde, aber der Winkel zwischen Wind und Strom weicht meist erheblich von dem theoretischen Werte für eine reine Windtrift ab.

In dem Zwischengebiete zwischen Südäquatorialstrom und Westwindtrift finden wir den großen Wirbel zwischen 40° und 90° O wenig verändert wieder, doch wird er nun stärker als im Januar durch die Winde gefördert.

Die Abflußvorgänge vor der Westseite Australiens sind im Juli prinzipiell anders als im Januar. Die Gründe für den Fortfall des Westaustralstroms sind bereits dargelegt (vgl. S. 23). Infolge des Verschwindens dieses Gliedes der Wasserbewegung geht nur wenig Wasser der Westwindtrift zur Passattrift über. Daher muß der größte Teil der bis 30° S nach Norden vorgedrungenen Wassermassen entlang der Westküste Australiens nach Süden abfließen. Sie setzen dann um Kap Leeuwin herum in östlicher Richtung in die Australbucht. Im Bereich dieser Bucht staut das Wasser wie im Januar gegen die Küste. Dadurch wird ein linksdrehender Wirbel ausgebildet, dessen Ausläufer bis vor die Westküste Tasmaniens reichen. Die nach links wirkende ablenkende Kraft der Erdrotation sowie die hart unter der Südküste Australiens wehenden Ostwinde begünstigen die Wirbelbildung.

Über die Stromvorgänge im antarktischen Gebiet kann in Ermangelung von Material nichts ausgesagt werden.

3. Kritik der Stromkarten mit Hilfe der Oberflächentemperatur.

Im folgenden soll versucht werden, eine Kritik der Stromkarten aus den Oberflächentemperaturen zu gewinnen. Hierzu dienen die Karten 3 und 4. Eingezeichnet ist der Verlauf der Wasserbewegung auf Grund der Karten 1 und 2. Dargestellt ist jedoch nur die mittlere Stromrichtung durch einfache Pfeile. Es ist Bedacht darauf genommen, die Eigenart des Strombildes in

seinen Einzelheiten trotz starker Verkleinerung zum Ausdruck zu bringen. Die Oberflächenisothermen sind in Intervallen von 2,5° eingetragen. Außerdem geben Windpfeile für jedes Fünfgradfeld Windrichtung, Stärke und Beständigkeit, letztere durch Fiederung und Pfeillänge, an. Eine Skala zum genauen Ablesen dieser Daten ist nicht beigefügt, da für den oben erwähnten Zweck die Angaben der Karten genügen. Auch sind Einzelheiten leicht in dem holländischen Kartenwerk (1908) einzusehen, aus dem Temperatur- und Windangaben entnommen sind. Neben der Wassertemperatur könnte natürlich auch der Oberflächensalzgehalt zur Kontrolle herangezogen werden, doch fehlen für den Salzgehalt bis jetzt so zahlreiche und langjährige Beobachtungen, wie sie uns das holländische Material für die Oberflächentemperatur bietet. Allerdings ist für unsere auf die Temperaturverteilung gestützte Betrachtung die außerordentlich gleichförmige Temperierung der größeren Nordhälfte des Indischen Ozeans ebenfalls nachteilig; treffen wir doch nördlich 20° S fast nur die beiden Isothermen von 25° und 27,5° an. Günstiger liegen die Verhältnisse im Südindischen Ozean.

Im Gebiet der Westwindtrift stimmt der Verlauf der Isothermen in beiden Monaten mit der aus den Stromversetzungen gewonnenen mittleren Stromrichtung einwandfrei überein; die Richtungsänderungen der Trift auf dem Weg über den Ozean spiegeln sich im Linienzug der Isothermen wider. Im Westen lassen sie das Zurückkurven von Teilen der Westwindtrift in den Atlantischen Ozean unter Mitnahme von Agulhaswasser deutlich erkennen. Im östlichen Teil des Ozeans ist die nordöstliche Richtung der Trift und ihr Ausweichen vor dem australischen Festlande in guter Übereinstimmung mit den Isothermen.

Die Konvergenz der Wasserbewegung im Süden und Südosten Afrikas (Südwestbewegung des Agulhasstroms und Nordostbewegung der Westwindtrift) spricht sich in der engen Scharung der Isothermen, die Divergenz im Südwesten Australiens drückt sich in ihrer Weitabständigkeit aus.

In den Breiten von etwa 40—20° S — im Januar noch erheblich weiter nördlich — steigen im allgemeinen die Isothermen von Westen nach Osten an, entsprechend der Tatsache, daß die Wasserbewegung in der Westhälfte des Ozeans eine polwärts, in der Osthälfte eine äquatorwärts gerichtete Komponente besitzt. Der Agulhasstrom drückt sich besonders im Januar, wo er stärker fließt, in den Isothermen aus. Ihre nördlichste Lage erreichen sie im Westen Australiens, und zwar im Januar im Gebiet des Westaustralstroms, analog den Verhältnissen im Benguela- und Perustrom in den beiden anderen Ozeanen; im Juli, wo der Westaustralstrom fehlt, schieben sie sich in dem großen Divergenzgebiete am weitesten nach Norden vor, das die Südost- und Ostseite des großen südindischen Stromwirbels begleitet. Die oben (S. 20) nachgewiesene stärkere Aspiration im Januar drückt sich im steilen Verlauf der Isothermen in diesem Monat aus. Das große, aus den Stromversetzungen abgeleitete Zirkulationssystem des Südindischen Ozeans wird also auch durch den Verlauf der Isothermen voll bestätigt.

Im Kanal von Moçambique ist im Juli der nach Süden setzende Moçambiquestrom und die an der Westküste Madagaskars nach Norden setzende Strömung durch die Isothermen gut ausgedrückt. Im Januar dagegen stimmt die 27,5°-Isotherme nicht mit dem Strombild überein. Eine Nachprüfung ergibt jedoch, daß die Temperaturbeobachtungen so spärlich sind, daß durch weitere Beobachtungen leicht eine Verschiebung zugunsten unseres Strombildes eintreten kann.

Im Nordwestindischen Ozean führt die Nordostmonsuntrift etwas

kühleres Wasser nach Südwesten, und dies prägt sich im Verlauf der Isothermen dieses Gebietes aus. Aber auf seinem Wege erwärmt sich dieses Wasser zu gleicher Temperatur wie der Südäquatorialstrom, und daher ist der Äquatorialgegenstrom aus dem Isothermenbild des Januar nicht zu erkennen.

Auffallend ist im Januar die Warmwasserinsel an der Malabarküste, die erstmalig in dem holländischen Kartenwerk (1908) erscheint. Über einen Flächenraum von fast vier Eingradfeldern dehnt sich hier Wasser von über 27,5° C aus, während überall in der weiteren Umgebung die Temperatur unter 27,5° C bleibt.

Da kein Grund für eine höhere Erwärmung der Oberfläche an dieser Stelle zu finden ist und die Warmwasserinsel im Gebiet ablandiger Wasserbewegung liegt, so drängt sich die Vermutung auf, daß analog dem von verschiedenen Küstengegenden des Atlantischen und Indischen Ozeans her bekannten kalten Auftriebwasser (Puff 1890a) die Warmwasserinsel an der Malabarküste durch warmes Auftriebwasser bedingt ist.

Mit der Wärmezunahme nach der Tiefe müßte eine Salzgehaltszunahme verbunden sein. Eine solche Salzgehaltszunahme ist aber in unserem Gebiete durchaus wahrscheinlich, denn sowohl Schotts Darstellung, die allerdings nicht ganz bis an die Küste reicht (1902, Taf. 33 und 34), wie die benachbarten Serienmessungen Brenneckes (1909, 3. Bd. S. 81. St. 144 auf 1° 52 N und 74° 45 O) zeigen eine Salzgehaltszunahme mit der Tiefe an. Brennecke nimmt an, daß das bei beiden Stationen auftretende Salzgehaltsmaximum durch „eine regional ziemlich ausgebreitete Wirkung der aus dem Roten Meer austretenden Unterströmung" (vgl. 1909, S. 81) hervorgerufen wird.

Wenn nun im Winter die Oberfläche sich abkühlt, kann infolge der Salzgehaltszunahme diese Abkühlung nicht in die Tiefe getragen werden, so daß die Oberfläche schließlich kälter als die salzreichere Unterschicht werden kann. Bei Wasserersatz aus der Tiefe muß dann warmes Auftriebwasser in Erscheinung treten. Es liefert demnach die Warmwasserinsel an der Malabarküste den Beweis, daß für die durch den Nordostmonsun von der Küste weg in den Arabischen Meerbusen getriebenen Wassermassen an der Oberfläche nur ungenügender Ersatz zuzuströmen vermag.

Im Juli lassen die 25°- und 27,5°-Isothermen den Übergang des Nordzweiges des Südäquatorialstroms zur Südwestmonsuntrift gut erkennen. Auch das Ausweichen der Monsuntrift vor der Malabarküste ist deutlich ausgeprägt, sowie die Tendenz der Strömung nach Osten südlich des Golfes von Bengalen. Vor der Somaliküste tritt die bekannte Kaltwasserinsel hervor.

Das Strombild stimmt also gut mit dem Isothermenbild überein, obwohl es unabhängig von diesem aus den Stromversetzungen abgeleitet wurde.

Schriftennachweis.

Der Schriftennachweis ist geordnet nach Erscheinungsjahren. Mehrfach auftretende Jahreszahlen sind durch Indexbezeichnung unterschieden. Laufend erscheinende Veröffentlichungen sind beispielsweise signiert: 1873/1920.

1845. Wilkes, Ch., Narrative of the United States Exploring Expedition during the Years 1838 bis 1842, Bd. 1.

1873/1920. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie.

1882. Meteorological Charts for the Ocean District adjacent to the Cape of Good Hope. Met. Off. London.

1882a. Findlay, A. G., A Directory for Navigation of the Indian Ocean.

1882b/1902. Atlantischer Ozean. Ein Atlas von 36 Karten . . . als Beilage zum Segelhandbuch für den Atlantischen Ozean. Neuauflage 1902. Deutsche Seewarte. Hamburg.

1884/1889. „Challenger". Scientific Results, Physics and Chemistry. Bd. 1 u. 2.
1885. Segelhandbuch für den Atlantischen Ozean. Deutsche Seewarte. Hamburg.
1886. Weather charts of the Bay of Bengal and adjacent sea north of the equator. Met. Dep. of the Government of India. Simla.
1888. Weather charts of the Arabian Sea and the adjacent portion of the North Indian Ocean. Met. Dep. of the Government of India. Calcutta.
1889. Die Forschungsreise S. M. S. „Gazelle" in den Jahren 1874 bis 1876. Hydrographisches Amt des Reichs-Marine-Amts. Berlin.
1890. Schott, G., Oberflächentemperaturen und -strömungen der Ostasiatischen Gewässer. Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte. Hamburg 1891. Nr. 3.
1890a. Puff, A., Das kalte Auftriebwasser an der Ostseite des Nordatlantischen und der Westseite des Nordindischen Ozeans. Marburger Diss.
1891. Ein Atlas von 35 Karten . . . Indischer Ozean. Deutsche Seewarte. Hamburg.
1892. Segelhandbuch für den Indischen Ozean, Deutsche Seewarte. Hamburg.
1895. Meteorological Charts of the Red Sea. Met. Off. London.
1896. Monthly Currents Charts for the Indian Ocean. Met. Off. London.
1896a. Stiller Ozean. Ein Atlas von 31 Karten. Deutsche Seewarte. Hamburg.
1897. Stok, J. P. van der, Wind and weather, currents, tides and tidal streams in the East Indian Archipelago Batavia.
1898. Report on the Undercurrents in the Straits of Bab el Mandeb from Observations by Commander H. J. Gedge, H. M. S. „Stork". Hydr. Off. Admiralty. London.
1898a. Fricker, K., Antarktis. Bibliothek der Länderkunde. Bd. 1.
1901. Luksch, J., Physikalische Untersuchungen (Expedition S. M. S. „Pola" in das Rote Meer). Bd. 69 der Denkschr. d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch. Wien.
1902. Schott, G., Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer „Valdivia" 1898 bis 1899. Bd. 1 Ozeanographie und maritime Meteorologie, Text und Atlas.
1902a/1903. Berichte der Deutschen Südpolarexpedition 1901 bis 1903. Veröff. d. Inst. für Meereskunde zu Berlin. Heft 2 u. 5.
1902b. Gilchrist, J. D. F., Marine Investigations in South Africa. Bd. 2, Nr. 21. Kapstadt.
1905. Atlas der Stromversetzungen an den wichtigsten Dampferwegen im Indischen Ozean und in den ostasiatischen Gewässern. Deutsche Seewarte, Hamburg.
1905a/1910. Tabellarische Reiseberichte nach den meteorologischen Schiffstagebüchern. Bd. 1 bis 7. Eingänge der Jahre 1903 bis 1909. Deutsche Seewarte. Berlin.
1906/1920. Pilot Charts for the Indian Ocean. Hydr. Off. Washington.
1907. Meteorological Charts of the Southern Ocean between the Cape of Good Hope and New Zealand. Met. Off. London.
1907a. Segelhandbuch für die Westküste von Hindustan. Reichs-Marine-Amt. Berlin.
1908/1911/1913. Oceanographische en Meteorologische Waarnemingen in den Indischen Oceaan. Tabellen und Karten. Vier Teile, umfassend die vier Vierteljahre. Kon. Nederl. Met. Inst. Utrecht. (1915 ist der 1908 erschienene Teil neu herausgegeben.)
1908a. Monatskarten für den Indischen Ozean. Deutsche Seewarte. Hamburg.
1908b. Meteorological Atlas of the Indian Seas and the North Indian Ocean. Met. Dep. of the Government of India. Simla.
1908c. Segelhandbuch für das Südchinesische Meer. Reichs-Marine-Amt. Berlin.
1909. Brennecke, W., Forschungsreise S. M. S. „Planet" 1906/1907. Bd. 3 Ozeanographie, hrsg. vom Reichs-Marine-Amt. Berlin.
1910. Oceanographische en Meteorologische Waarnemingen bij Kaap Guardafui. Atlas. Kon. Nederl. Met. Inst. Amsterdam.
1911. Krümmel, O., Handbuch der Ozeanographie. Bd. 2,
1911a. Deutsche Südpolarexpedition 1901 bis 1903. III. Bd. Meteorologie I. Bd., 1. Hälfte Heft 2.
1912. Krugler, H., Die Windverhältnisse im östlichen Mittelmeer und seinen Randgebieten. Berliner Diss.
1912a. The China Sea Pilot. Vol. III. 1st ed. 1912. Hydr. Off. Admiralty. London.
1912b. Amundsen, R., Die Eroberung des Südpols. 1. Bd.
1913. Atlas der Meeresströmungen in dem Indischen Ozean. Deutsche Seewarte. Hamburg.
1917. Schott, G., Weltkarte zur Übersicht der Meeresströmungen und Schiffswege. 5. Aufl. Hrsg. von der Deutschen Seewarte. Berlin.
1918. Schott, G., Ozeanographie und Klimatologie des Persischen Golfes und des Golfes von Oman. Beilage zu den Ann. der Hydr. und marit. Met. 1918.

Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Buchdruckerei G. m. b. H., Berlin SW68, Kochstraße 68—71.

GC
285
M5

Michelis, Georg

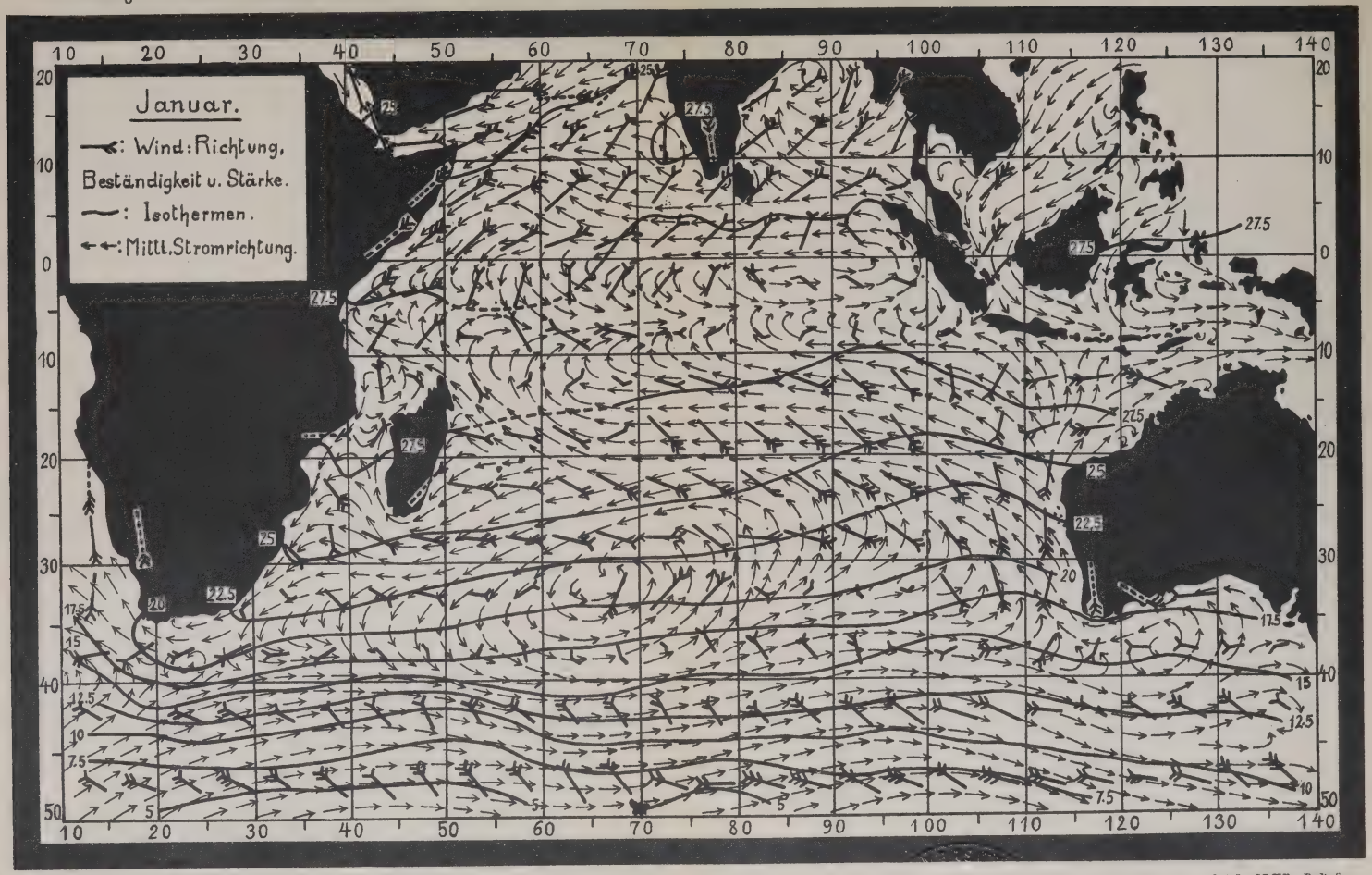
. Die Wärmebewegung an der Oberfläche des Indischen Ozeans

INDISCHER OZEAN

Temperatur, Luft- und Wasserbewegung.

Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde, Reihe A. Heft 8.

Karte 3.



Photolith. d. geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller, Berlin S.

H. Schaefer Hörsaal

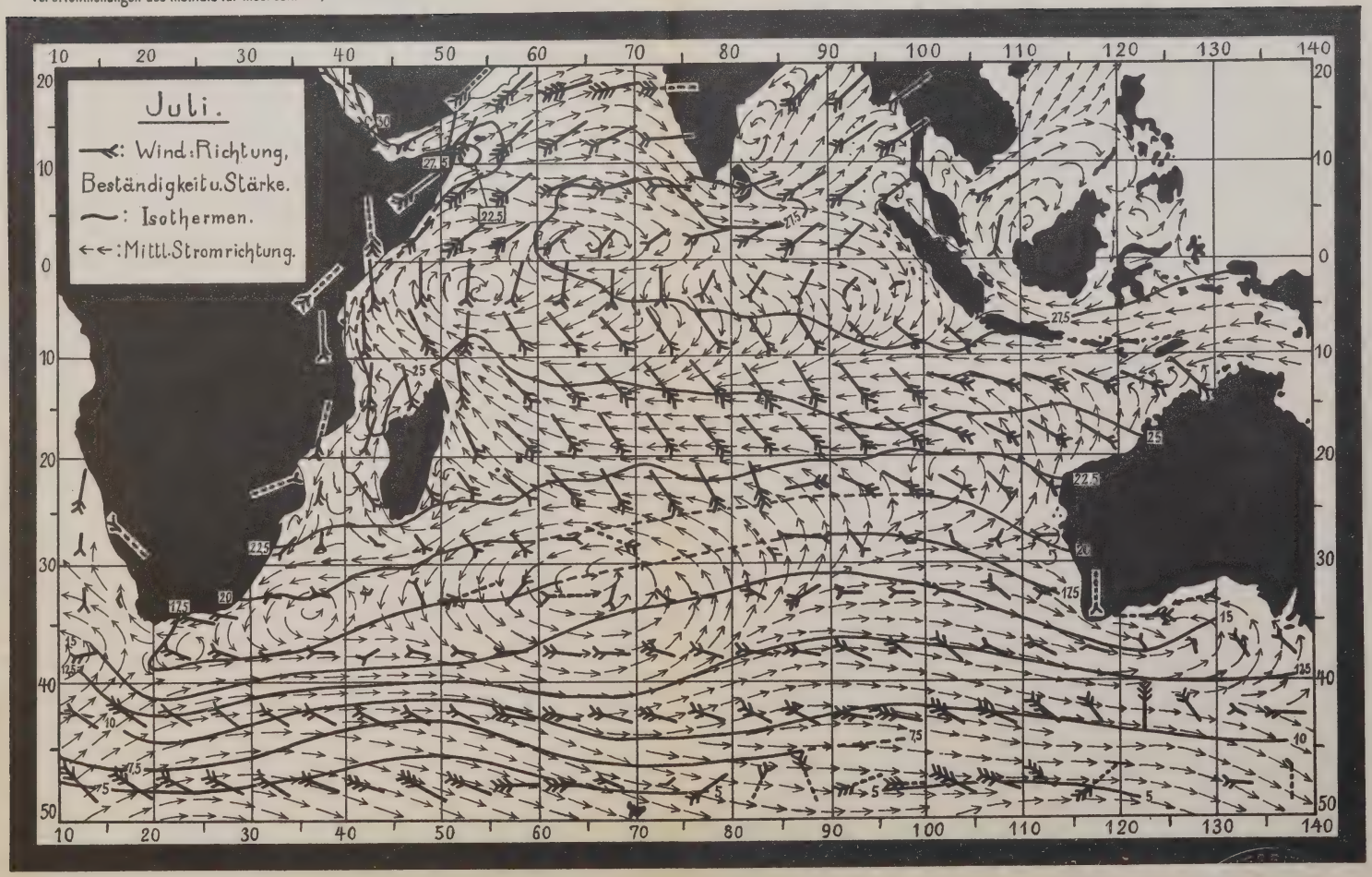
Die Wasserbewegung an der Oberfläche der ruhenden Seen

INDISCHER OZEAN

Temperatur, Luft- und Wasserbewegung.

Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde, Reihe A. Heft 8.

Karte 4.



Photolith. d. geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller, Berlin S.

GC
283
M5

Michaelis, Georg
Die wasserbewegung an der oberfläche des Indischen Ozeans im januar und juli

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

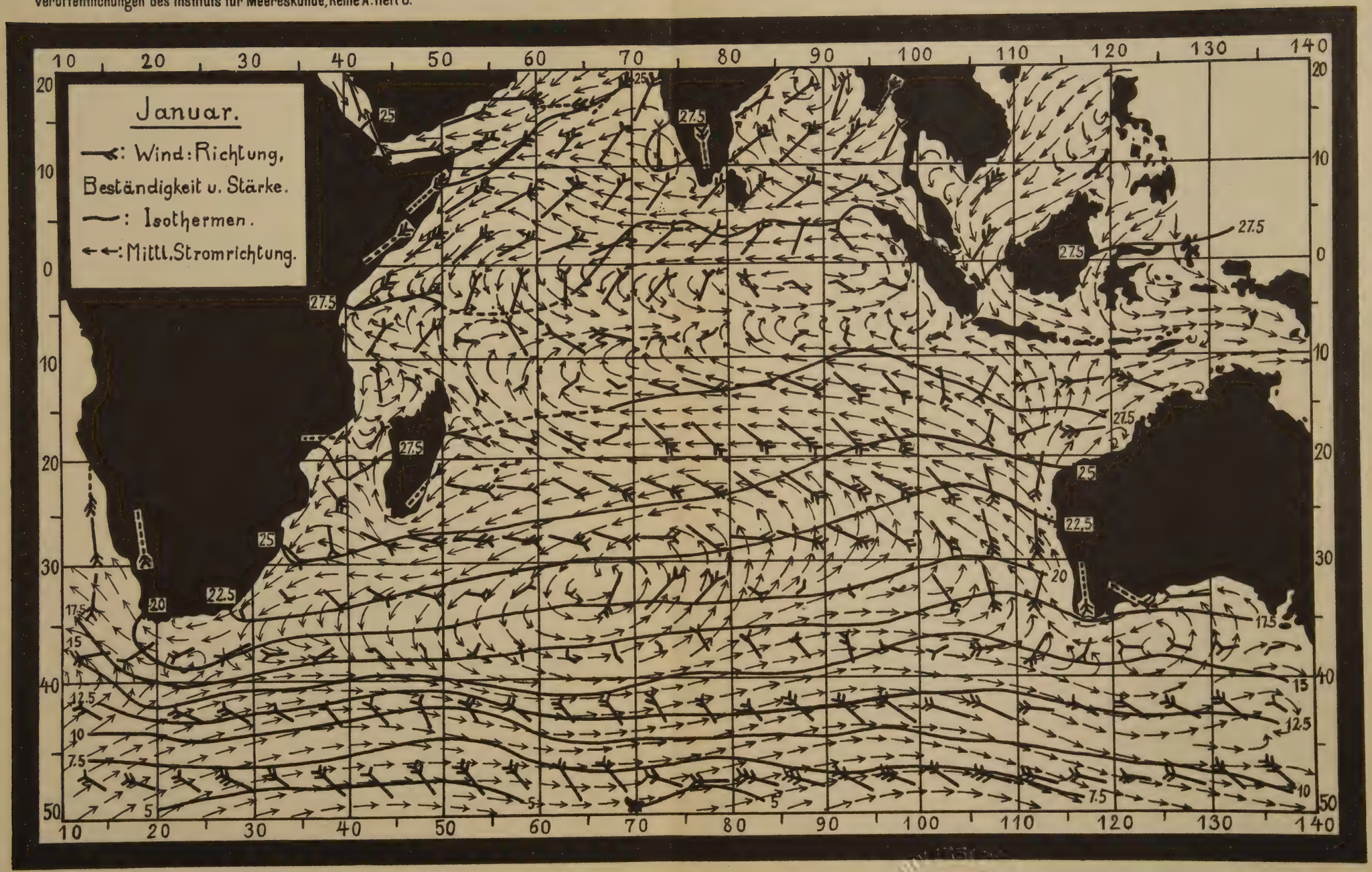
UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

INDISCHER OZEAN

Temperatur, Luft- und Wasserbewegung.

Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde, Reihe A. Heft 8.

Karte 3.



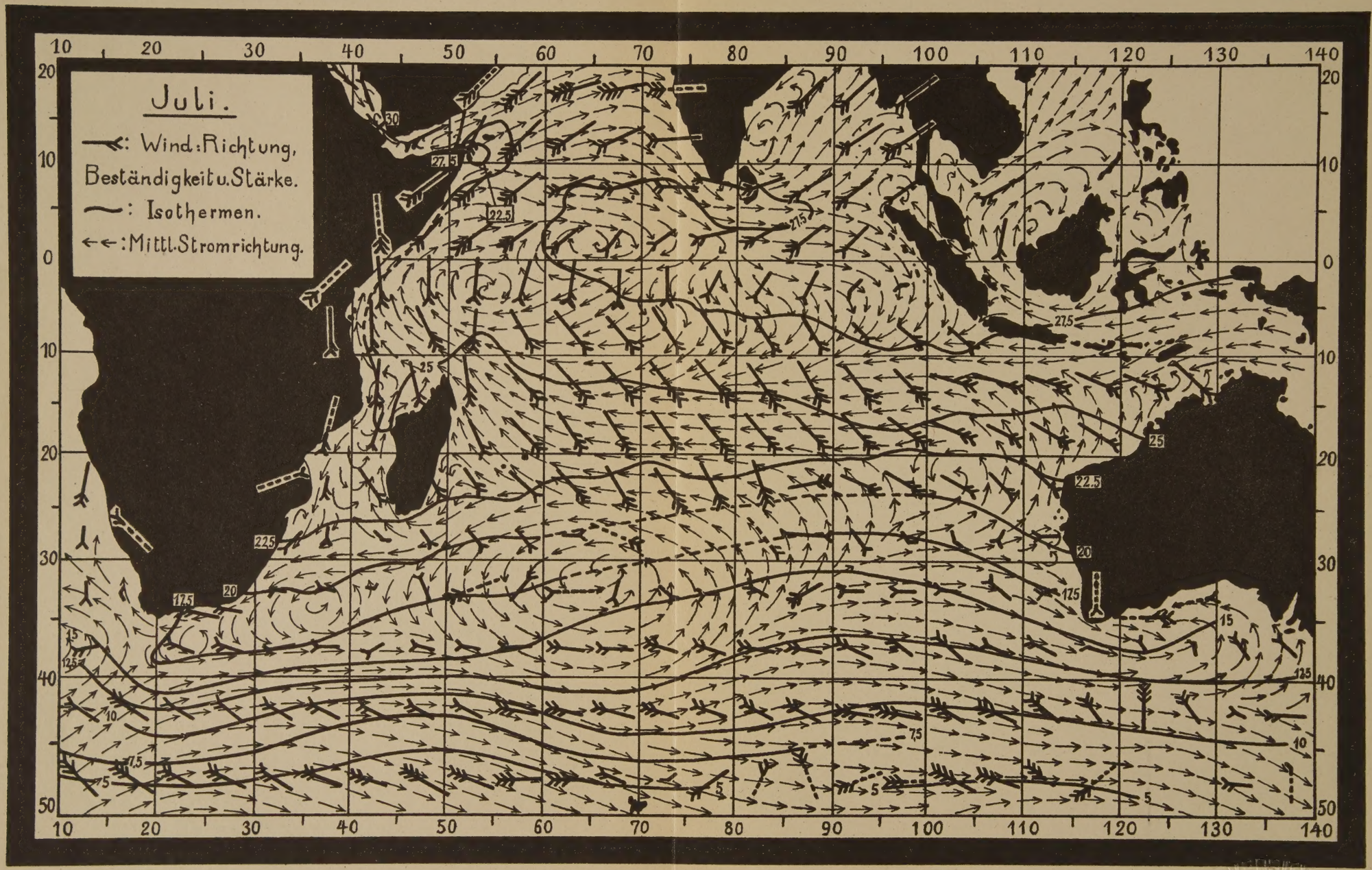
Photolith. d. geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller, Berlin S.

INDISCHER OZEAN

Temperatur, Luft- und Wasserbewegung.

Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde, Reihe A. Heft 8.

Karte 4.



Photolith. d. geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller, Berlin S.

INDISCHER OZEAN

Wasserbewegung an der Oberfläche im Januar.

Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde, Reihe A, Heft 8.

Karte 1.

Photolith. d. geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller, Berlin S.

INDISCHER OZEAN
Wasserbewegung an der Oberfläche im Juli.

Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde, Reihe A, Heft 8.

Karte 2.

Photolith. d. geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller, Berlin S.

UTL AT DOWNSVIEW
D RANGE BAY SHLF POS ITEM C
39 13 03 18 12 016 9